BERICHT

über

Rauchfreie Dampfkessel-Anlagen

in Sachsen.

Calorimetrische Untersuchungen

ausgeführt

mit Unterstützung des Königlichen Ministeriums des Innern, im Auftrag und unter Beihülfe des Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Vereins

von dem Berichterstatter

J. L. LEWICKI,

K. S. Geheimer Hofrath und o. Professor für Maschinenbau an der Königlich Technischen Hochschule zu Dresden.
Mitglied des Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Vereins etc.

Mit 26 Textfiguren und 21 Tafeln.

LEIPZIG
VERLAG VON ARTHUR FELIX
1896.

Vorbemerkungen.

Die Untersuchungen, über deren Ergebnisse hiermit Bericht erstattet wird, verfolgten den Zweck, die thatsächlichen Betriebsverhältnisse solcher Dampfkesselanlagen der sächsischen Industrie festzustellen, deren Feuerungen als rauchfrei oder doch als rauchschwach in den technischen Kreisen bekannt sind und sich dauernd im Betriebe bewährt haben. Zugleich sollten diese Feuerungen mit gewöhnlichen, stark rauchenden Planrostfeuerungen verglichen werden. Es sollten durch die Versuche die Behandlungsweise der Feuerungseinrichtungen, der Grad der Ausnutzung des Brennstoffes, und besonders die Rauchstärke zahlenmässig festgestellt und Bedingungen aufgesucht werden, unter denen mit Rücksicht auf die in Sachsen gebräuchlichen Kohlenarten ein rauchfreier Dampfkesselbetrieb bei den untersuchten Feuerungen erzielt werden kann.

Die durch die Versuche festgestellten Thatsachen sollen Anhaltspunkte ergeben, um immer mehr auf die Einführung rauchfreier Feuerungen hinzuwirken und, wo erforderlich, auch auf die Beseitigung solcher Kesselfeuerungen dringen zu können, deren Betrieb erhebliche Belästigungen durch Russbildung verursachen. Bei Durchführung der Versuche wurde darauf gesehen, dass die Kesselanlagen in dem Zustande zur Untersuchung gelangten, in dem sie gerade betroffen wurden und dass so wenig als möglich in der Betriebsweise Aenderungen eintraten, die das Bild der herrschenden Zustände hätten verändern können.

Es war zwar erforderlich, die zu untersuchenden Kessel auszuschalten, um alle Untersuchungen in zuverlässiger Weise durchführen zu können, aber es wurde die Feuerführung und die Dampfentwickelung fast ganz allein dem Feuermann überlassen, der angewiesen wurde, in gewohnter Weise und möglichst so, wie im gewöhnlichen Betriebe zu feuern. Wurde der Betrieb abgeändert, so geschah dies blos bei wiederholten Versuchen an demselben Kessel, um zu erkennen, wie eine andere Anstrengung auf das ökonomische Ergebniss und auf die Rauchbildung einwirkt.

In einigen Fällen war es nicht thunlich, den Kessel aus dem gewöhnlichen Betriebe zu nehmen, ohne zu grosse Störungen hervorzurufen. Obwohl die Versuche nicht alle oder nicht in allen Punkten mit physikalischer Genauigkeit durchgeführt und bei einzelnen nicht alle Versuchszahlen erhoben werden konnten, so ist doch bei der Mehrzahl derselben eine ausreichende Vollständigkeit der Beobachtungen zu erzielen gewesen. Die Ausführung der Versuche ist durch das bereitwillige, interessevolle Entgegenkommen der Eigner der Kesselanlagen auf das wirksamste gefördert worden. Durch die Stellung von Hilfsarbeitern und Materialien und dadurch, dass der Brennstoff fast überall in liberalster Weise kostenlos zur Verfügung gestellt wurde, hat sich auch der Kostenaufwand für die Versuche erheblich abgemindert. Ausserdem hat das Versuchsmaterial durch die Herren Ingenieure der Kesseleigenthümer, durch Lieferung authentischer Zeichnungen und anderer Beiträge an Zuverlässigkeit und Reichhaltigkeit gewonnen. Der Berichterstatter nimmt mit besonderer Freude die Gelegenheit wahr, an dieser Stelle seinen aufrichtigsten Dank auszusprechen, namentlich dem Kgl. Ministerium des Innern, das die erforderlichen Mittel zur Verfügung stellte, dem Verwaltungsrath des Sächs. Ingenieur- und Architekten-Vereins, der die im Schoosse des Vereins gegebene Anregung eifrig verfolgte, den Leitern der Königl. Staatsbahnwerkstätten zu Chemnitz, Dresden und Leipzig, der Leitung des städtischen Siechenhauses, der Aktiengesellschaft für Glasindustrie vormals Friedrich Siemens zu Dresden, der Deutschen Schleppschifffahrtsgesellschaft „Kette“ zu Dresden, der sächsischen Maschinenfabrik zu Chemnitz, der Firma Villeroy & Boch zu Dresden, der Firma Louis Hermsdorf

& Comp. zu Chemnitz, der Maschinenfabrik von R. H. Kühne in Löbtau bei Dresden und der Dresdner Baugesellschaft.

Bei der Durchführung der Untersuchungen hat Herr Geheimer Hofrath Professor Dr. Hempel in hervorragender Weise mitgewirkt und unter seiner Leitung sind die Gasanalysen und calorimetrischen Heizwerth-Bestimmungen ausgeführt worden.

Es ist für den Leiter der Versuche eine grosse Genugthuung, an dieser Stelle für die stets bereitwillige, hochwerthvolle Belehrung und Hülfe, die ihm durch das liebenswürdige Entgegenkommen des Herrn Geheimen Hofrath Professor Dr. Hempel zu Theil geworden ist, seinen kollegialischen Dank aussprechen zu dürfen.

Bei der Durchführung der Versuche und bei der Herstellung der Versuchsprotokolle und der Vorberechnungen sind thätig gewesen die Assistenten der Königl. technischen Hochschule:

von der mechanischen Abtheilung: die Herren Heberlein, Connert, Enders, Hille, Naeher und Boltabol;

von der chemischen Abtheilung: die Herren Dr. Bachmann, Dr. Otto, Rucktäschel und Oehmichen.

Bei der Ausführung der Schlussberechnungen sind thätig gewesen: der erste Assistent der mechanischen Abtheilung, Herr Hille, und der zweite Assistent, Herr Züblin. Die Zeichnungen sind durch den Techniker Herrn Kluge ausgeführt, der sich auch bei den Schlussberechnungen und besonders bei der Zusammenstellung der Listen der Versuchsergebnisse bethätigte.

Die Namen der Studirenden, welche bei der Durchführung der Versuche mit thätig waren, sowie die der Heizmeister und Feuerleute sind bei den einzelnen Versuchen angeführt. Zu besonderer Freude muss es gereichen, feststellen zu können, dass alle die Feuerleute, denen die schwere und verantwortungsvolle Mitwirkung an der Untersuchung zufiel, ohne Ausnahmen bei den Versuchen grosses Interesse und den regsten Eifer gezeigt haben, der sie keine Mühe scheuen liess, den Anforderungen, die die Ausführung der Versuche an sie stellte, nachzukommen Allen Mitarbeitern sei hier der gebührende Dank ausgesprochen.

Der vorliegende Bericht enthält:

I. Die Beschreibung der Ausführungsweise der Versuche und der dabei angewendeten Messmethoden, sowie die Art der Berechnung.

II. Die 23 auf Grund der Versuchsprotokolle zusammengestellten Versuchsergebnisse und Berechnungen und die Beschreibung der Kesselsysteme und ihrer Feuerungen mit 18 Zeichnungen und 15 Zugführungsdiagrammen.

III. Ausserdem die Bemerkungen über die untersuchten Kesselsysteme im Allgemeinen und über die einzelnen Feuerungskonstruktionen und deren Wirkung insbesondere.

IV. Uebersicht über die Hauptergebnisse mit der Haupttabelle, in welcher die wichtigsten Werthe aus den Listen der einzelnen Versuche zusammen getragen erscheinen, sowie 8 Uebersichtsdiagramme derjenigen Ergebnisse, die für die Oekonomie und Russbildung ausschlaggebend sind.

I. Beschreibung der Ausführungsweise der Versuche und der dabei angewendeten Messmethoden, sowie die Art der Berechnung.

A. Die Kesselanlage.

Die untersuchten Kessel und ihre Feuerungen haben sich dauernd im Betriebe bewährt. Es wurden die Angaben allgemeiner Natur aus den Konzessions-Zertifikaten entnommen. Ausser der Zeit der Inbetriebsetzung sind Bemerkungen über die Reparaturen, über Reinigung und über Anschaffungskosten aufgenommen.

1. Der Kessel.

Die Konstruktion des Kessels ist aus den Konstruktionszeichnungen, die dem Berichte beigegeben sind, zu ersehen; die Besonderheiten des Kesselsystems sind ausserdem jedesmal noch durch Anführung der Hauptkennzeichen hervorgehoben.

Im Berichte sind für jeden Kessel die der Ausführung entsprechenden Hauptabmessungen, sowie die bei Beurtheilung des Systems in Frage kommenden Verhältnisse aufgenommen.

2. Die Feuerung.

Ueber die Einrichtung der Feuerungen geben die Konstruktionszeichnungen das Nähere an; die wesentlichen Eigenthümlichkeiten und die Beschickungsweise wurden noch besonders beschrieben. Auch hier sind die angegebenen Abmessungen stets mit der Wirklichkeit verglichen. Als Rostfläche ist das Produkt aus Rostbreite und der Länge der Roststabfläche, ohne Schlackenrost und Feuerplatte, in der Richtung der Rostfläche gemessen, angesehen worden.

3. Die Zugführung.

Dieselbe ist zunächst aus den Zeichnungen zu ersehen. An allen wichtigen Stellen ist der Querschnitt

der Zugführung gemessen worden. Für die Zuführung der Luft, welche unter den Rost gelangt, der Primärluft, ist die Zugklappenstellung und der während des Versuches benutzte mittlere Zugklappenquerschnitt angegeben. Ebenso ist der Querschnitt für die Zuführung der Sekundärluft, die über dem Rost und vor demselben, sowie in der Nähe der Feuerbrücke zugeführt wird, angegeben. Die Stellung des Zugschiebers am Ende der Feuerkanäle oder der „Fuchsquerschnitt" ist sowohl für ganz geöffnete Schieber, als auch für den Versuch durch den Mittelwerth bestimmt.

Es bezeichnet:

f_1 den Querschnitt vor dem Rost bei voller Klappenöffnung,

$f_0 = R_0$ die den Rostspalten entsprechende Fläche oder die freie Rostfläche,

f_2 den Querschnitt über der Feuerbrücke,

f_3 „ „ an der engsten Rohrstelle,

f_4 „ „ des ganzen Fuchses,

f_5 den mittleren Querschnitt der gesammten Zugführung,

f die Grösse des beim Versuch eingestellten mittleren Fuchsquerschnittes.

$\frac{f}{R}$, $\frac{f_1}{R}$, $\frac{R_0}{R}$, $\frac{f_2}{R}$, $\frac{f_3}{R}$, $\frac{f_4}{R}$ und $\frac{f_5}{R}$ sind die oben angeführten Querschnitte im Verhältniss zu der Rostfläche.

Den Verlauf der Zugführung hinsichtlich der Querschnittsverhältnisse und Längen erkennt man aus den Zugführungsdiagrammen, welche jedem Versuchs-Berichte beigefügt sind.

Für die sekundäre Luftzuführung bezeichnet f'_0 den Querschnitt der Zuführungskanäle und $\frac{f'_0}{R}$ deren Verhältniss zur Rostfläche.

B. Aeussere Zustände.

Zur Feststellung des absoluten Dampfdruckes im Kessel diente die Beobachtung des Barometerstandes während des Versuches, sowie die Ablesung des Dampfüberdruckes an dem jederzeit angebrachten Kontrollmanometer mit zwei Zeigern.

Das verwendete Aneroid-Barometer wurde mit dem Barometer der Meteorologischen Station Chemnitz verglichen.

Der Druck der Atmosphäre ergab sich aus den Ablesungen b am Barometer aus der Beziehung

$$p_b = \frac{b}{760} \cdot 1{,}0333 \ kg/qcm.$$

Die Kenntniss des während des Versuches stattfindenden Barometerstandes ist auch von Interesse bei Beurtheilung der Zugwirkung des Schornsteins, bei Bestimmung der Luftfeuchtigkeit, für die Gasanalyse und für die Bestimmung der wahren Ausströmungs-Spannung des Dampfes.

Die Luftfeuchtigkeit bestimmte man unter Anwendung des August'schen Psychrometers, der bekanntlich aus einem trocknen und einem feucht gehaltenen Thermometer besteht.

Aus der Temperaturdifferenz $\tau_4 - \tau_3$ des trockenen und des befeuchteten Thermometers ergiebt sich nach den entsprechenden Tabellen das Sättigungsverhältniss φ.

Die Beobachtung der Aussenluft-Temperatur τ_1 sowie die der Luft im Kesselhause τ_2 erfolgte, um mit dem Werthe φ den Wassergehalt der Verbrennungsluft zu bestimmen, und um die durch die „Verbrennungsluft" sowie durch die „Beiluft" dem Kessel zugeführte Wärmemenge zu berechnen.

Die hier angegebenen Beobachtungswerthe: Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, sowie die Angaben über Wind und „Wetter" sollen auch dazu dienen den Einfluss der atmosphärischen Zustände, die man geneigt ist für sehr erheblich zu halten, richtig zu beurtheilen.

C. Brennstoff.

Für den Brennstoff ist angegeben: Die Kohlenart, ihre übliche Benennung, der Bezugsort, das Gewicht für den *hl*, der Preis und die Transportkosten.

Die bei den Versuchen verwendeten Brennstoffe sowie die Herdrückstände wurden einer Elementar-Analyse, einer calorimetrischen Untersuchung und einem Verkokungsversuche unterworfen.

Die zu den chemischen Untersuchungen bestimmten Brennstoffmengen wurden aus einer Mittelprobe entnommen. Zur Mittelprobe wurde von den stets gleichen „vorgewogenen" Brennstoffmengen, also von jedem Karren, oder von jedem Korbe eine gleiche Menge (etwa 1—2 *kg*) entnommen. Diese Einzelproben wurden in einer Kiste oder in einem Blechgefäss gesammelt und zugedeckt an einem Orte, wo weder Zugluft noch strahlende Wärme den Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffs verändern kann, aufbewahrt. Zu Ende des Versuchs entnahm man der reichlich grossen Menge annähernd 3 *kg*, nachdem man durch wiederholtes Ausbreiten, Viertheilen und Zusammenlegen der gegenüberliegenden Viertel die überflüssige Menge ausgeschieden hatte. Diese so gewonnene Mittelprobe brachte man in ein Glasgefäss mit weitem Halse und eingeschliffenem Stöpsel. Um Irrthümer zu vermeiden, wurde hierauf auf Papptäfelchen das Datum des Versuches und das

sofort bestimmte Bruttogewicht verzeichnet und durch feste Schnüre am Halse des Gefässes befestigt, dessen Stöpsel durch Ueberbinden gesichert war. Diese Gläser mit den Mittelproben wurden Herrn Professor Dr. Hempel übergeben, welcher die erforderlichen Untersuchungen im chemischen Laboratorium der Königl. Technischen Hochschule ausführen liess.

Die Elementar-Analyse des Brennstoffes.

a) Die Grubenfeuchtigkeit.

Es wurde die Mittelprobe von 3—5 *kg* etwa acht Tage lang an der Luft, ausgebreitet auf einer Pappe, liegen gelassen bis eine Gewichtsdifferenz durch längeres Liegen nicht mehr zu bemerken war. Durch Wägung vor und nach dem Trocknungsprozess ergiebt sich die Grubenfeuchtigkeit W_1 bezogen auf 1 *kg* der natürlichen Brennstoffart.

b) Die Gesammtfeuchtigkeit $W = W_1 + W_2$, bestehend aus der Grubenfeuchtigkeit W_1 und aus der hygroskopischen Feuchtigkeit W_2 ergab sich durch Wägung der bei 105° Celsius getrockneten Brennstoffmenge.

c) Die absolute Asche. 1 *g* Kohle wurde in einem schräg liegenden Platintiegel bis zu konstantem Gewichte geglüht.

d) Schwefel. 1 *g* Kohle wurde nach Eschka's Methode untersucht.

e) Der Stickstoff wurde nach Dumas volumetrisch bestimmt.

f) Der Sauerstoff. Es wurde eine Menge von 0,2—0,3 *g* lufttrockenem Brennstoff mit chromsauren Bleioxyd elementaranalytisch verbrannt.

g) Die Koke-Bestimmung. Ein *g* Kohle wurde in wohl zugedecktem Platintiegel schnell erhitzt und so lange geglüht, bis keine brennbaren Gase mehr entwichen und dann gewogen. Der Rückstand ergab die Menge der Koke.

h) Die calorimetrische Bestimmung des Heizwerthes H_0. Ein *g* lufttrockner Brennstoff wurde nach Hempel's „Gasanalytischer Methode" (1890 Seite 347) unter höherem Druck mit reinem Sauerstoff in der calorimetrischen „Bombe" verbrannt. Der Vergleich der Temperaturerhöhung des Calorimeterwassers mit der Temperaturerhöhung, welche in derselben Wassermenge bei der Verbrennung von 1 *g* Zuckerkohle von dem bekannten calorimetrischen Heizwerthe von 8080 Cal. hervorgebracht wurde, ergab den Heizeffekt der Kohle.

Hätte z. B. die Verbrennung von 1 *g* Zuckerkohle eine Temperaturerhöhung von 8° bewirkt, während bei

der Verbrennung von 1 *g* Brennstoff 6,5° Erhöhung eintrat, so betrüge der calorimetrische Heizwerth des untersuchten Brennstoffes

$$H_0 = \frac{6,5}{8,0}\, 8080 = 6565 \text{ Cal.}$$

i) Calorimetrische Untersuchung der Herdrückstände (μ *kg* für 1 *kg* Brennstoff). Heizwerthe der Schlacken und der Asche. Waren die Herdrückstände vorher durch Wasser abgelöscht, so wurden dieselben getrocknet und gewogen. Von einer Menge von 3 *kg* gemahlener Schlacke und Asche wurde 1 *g* entnommen und bis zu konstantem Gewichte geglüht. Hierdurch wurde das Verbrennliche μ_0 *kg* für μ *kg* Rückstände bestimmt. Die absolute Asche μ_a bildete den Rest von

$$\mu_a = \mu - \mu\mu_0.$$

Das Verbrennliche kann als Kohlenstoff angesehen werden, der Heizwerth h_t der Herdrückstände wurde dann in Calorimeter bestimmt und auf 1 *kg* Brennstoff berechnet.

k) Die Russbestimmung.

Der Russ wurde in der Weise bestimmt, dass man während der ganzen Dauer des Versuches, oder während des grössten Theils der Versuchszeit mittelst eines Auslaufaspirators die Verbrennungsgase aus dem Fuchs durch das in die Gasleitung eingeschaltete Russabsorptionsrohr hindurch leitete. Der in letzterem aufgefangene Russ wurde hierauf in einem Sauerstoffstrome verbrannt und aus der entstandenen Kohlensäure elementaranalytisch bestimmt. Das Russabsorptionsrohr bestand aus einem 10 *mm* weiten mit Asbest gefüllten schwer schmelzbaren Glasrohr, das rechtwinkelig zum Strome der Verbrennungsgase gut gedichtet in das Ende der Feuerkanäle eingeführt war.

Zur elementaranalytischen Bestimmung gelangte nur der Russ, welcher im Innern der Röhre abgeschieden war. Zu diesem Zwecke wurde nach Beendigung des Versuchs der nahe der Mündung befindliche Russ mittelst Bausches von Asbest weggewischt und nach hinten geschoben. Das Russabsorptionsrohr diente unmittelbar als Verbrennungsrohr. Der äusserlich angesetzte Russ wurde entfernt. Da man das zur aufgefangenen Russmenge gehörende Volumen der angesaugten Gase kannte, so liess sich leicht der Russgehalt auf 1 *cbm* derselben bestimmen.

l) Die Rauchgasanalyse.

Es wurden fortlaufende Einzelproben von Rauchgasen sowohl aus dem Gasstrome der Flammenrohre als aus dem „Fuchs" entnommen und auf ihren Gehalt

an freiem Sauerstoff und Kohlensäure untersucht. Der Sauerstoff wurde durch Absorption mit Phosphor, die Kohlensäure durch Natronlauge gewonnen. Zur Absorption verwendete man den Hempel'schen Apparat. (Gasanalytische Methoden 1890.)

Die Gasmenge, welche zur Russbestimmung entnommen worden war, wurde, da sie eine gute Durchschnittsprobe enthielt, im chemischen Laboratorium gasometrisch auf Kohlensäure und Sauerstoff, sowie auf Kohlenoxyd und Methan untersucht. Etwa 10 *l* derselben wurden durch ein mit Kupferoxyd gefülltes glühendes Glasrohr hindurch geleitet, um dann elementaranalytisch Sumpfgas (CH_4), Kohlenoxyd (CO) und den gasförmigen Kohlenstoff bestimmen zu können. Der Kohlenstoff wurde als Kohlensäure gewogen.

m) Der Wassergehalt der Kohle bestimmt sich für 1 *kg* grubenfeuchte Kohle, wie sie verfeuert wurde, zu

$$W = W_1 + W_2.$$

Aus dem Ergebniss der Elementar-Analyse, welche auf 1 *g* lufttrockene Kohle die hygroskopische Feuchtigkeit zu W_0 ergiebt, erhält man

$$W_2 = W_0\ (1 - W_1).$$

Der theoretische Heizwerth H_t kann nun aus der Elementar-Analyse wie folgt berechnet werden:

$$H_t = 8080\ C + 34662 \left(H - \frac{1}{8}\ O\right) + 2500\ S - 606{,}5\ (W + 9\ H).$$

Hierin ist C, H, S und W der Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel und $9\ H$ das aus H gebildete Wasser. H_t ist die bei vollkommener Verbrennung über 0° freiwerdende Wärmemenge. Die „deutsche Formel" ist hieraus durch Zusammenziehung und Abrundung entstanden, sie giebt

$$H_t = 8000\ C + 29000 \left(H - \frac{1}{8}\ O\right) + 2500\ S - 600\ W.$$

In dem Verzeichnisse der Versuchsergebnisse ist H_t nach der deutschen Formel bestimmt.

n) Der „calorimetrische Heizwerth" H_0, welcher aus der Erwärmung des Calorimeterwassers berechnet wird, bezieht sich zunächst auf lufttrockene Kohle. Um den Heizwerth für 1 *kg* Grubenkohle zu erhalten, hat man H_0 mit $(1 - W_1)$ zu multipliziren und die latente Wärmemenge über 0° für den Wasserdampf abzuziehen. Es ist demnach

$$H_c = H_0\ (1 - W_1) - 606{,}5\ (9\ H + W).$$

Der calorimetrische Werth H_c ist, als der experimentelle Heizwerth, in die Berechnungen aufgenommen worden.

o) Die Verkokung wurde ausgeführt, um zu erkennen, wie viel flüchtige Bestandtheile die Kohle besitzt, wie „gasreich" sie also ist. Hier ist zu bemerken, dass gasarme Kohlen von vornherein für „rauchfreie" Feuerungen besonders geeignet sind, sobald sie nicht „backen", zusammenhängende Schlacken bilden oder „schlacken".

D. Die Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Es ist angegeben, ob die Vertheilung des Brennstoffes auf dem Rost von Hand oder durch eine selbstthätige Einrichtung erfolgte. Bei den Schüttrost- oder Fülltrichter-Feuerungen wird zwar von Hand der Fülltrichter gefüllt erhalten, die eigentliche Zuführung erfolgt dagegen ununterbrochen und selbsthätig. Hierbei ist es wesentlich, dass die Grösse der Brennstofftheile und die Schräge des Rostes richtig gewählt sind. Die Rostschräge ist aus den Konstruktionszeichnungen zu entnehmen. Die Grösse der Brennstoffstücke ist durch die Bezeichnung der Kohlenart gegeben. Zur Kennzeichnung der Art der Beschickung ist vermerkt, ob der Rost bei Handbeschickung durch Vornaufgeben oder durch abwechselndes Aufgeben auf die linke und rechte Seite erfolgte, in welchen Zeitabschnitten und in welchen Mengen die einzelnen Beschickungen bewirkt wurden. Bei den mechanischen Vorrichtungeu zur Brennstoffaufgabe ergiebt sich die Beschickungs- oder Zuführungsgeschwindigkeit aus der stündlich verbrauchten Menge. Dividirt man dieselbe durch die Rostfläche, so erhält man die Verbrennungsgeschwindigkeit „c".

Würde z. B. auf R *qm* Rostfläche B *kg* verbrannt, so ist die Verbrennungsgeschwindigkeit c auf die Sekunde bezogen, aus $3600\ cR = \frac{B}{\gamma}$

$$c = \frac{1}{3600\ \gamma} \frac{B}{R} = \frac{1}{3600\ \gamma} B_0$$

wobei B_0 die stündlich auf 1 *qm* Rostfläche verbrannte Brennstoffmenge oder die Rostbelastung bezeichnet.

Für $\gamma = 1400$ *kg* und $B_0 = 100$ wird

$$c = \frac{100}{3600 \cdot 1400} = 0{,}02\ mm \text{ oder } 1/50\ mm.$$

Die Rostbelastung giebt ein Maass für die Inanspruchnahme der Feuerung sowie des Kessels und man erkennt daraus, ob man es mit einer langsamen oder schnellen Verbrennung zu thun hat. Da es aber nicht gleichgültig ist, ob in einer Feuerung Brennstoff von geringem oder hohem Heizwerthe H_c verbrannt wird, so muss man H_c mit in Betracht ziehen, wenn es sich darum handelt, die wirkliche Rostanstrengung zu bestimmen. Bei gleicher Verbrennungsgeschwindig-

keit wird der Kessel um so stärker angestrengt, je hochwerthiger der Brennstoff ist; es werden auch die Verbrennungstemperaturen bei angestrengten Kesseln höhere sein. Für jeden Versuch ist daher ausser der üblichen Angabe der Rostbelastung $\frac{B}{R} = B_0$, welche die Verbrennungsgeschwindigkeit misst, auch der Werth $\frac{B}{R} H_c$ angegeben.

Dieser Werth besagt, wie viel Wärmeeinheiten stündlich auf 1 *qm* der Rostfläche durch die Verbrennung frei werden könnten, wenn die Feuerung vollkommen, also mit dem Wirkungsgrade $\eta_1 = 1$ arbeiten würde. Ist der Wirkungsgrad der Feuerungsanlage η_1 so würde $\eta_1 \frac{B}{R} \cdot H_c$ cal. als Anstrengung sich ergeben. Da man von vornherein η_1 nicht kennt, und derselbe für verschiedene Brennstoffe doch denselben Werth haben kann, so empfiehlt sich als Anstrengung des Rostes den Werth

$$\frac{B}{R} H_c = B_0 H_c$$

anzusehen.

Die während des Versuchs verbrauchte Brennstoffmenge bei Z Versuchsstunden und bei der stündlichen Brennstoffmenge B ist $Z \times B$. Dieselbe wurde durch Wägung bestimmt. Es wurden stets gleiche Mengen in tarirten Gefässen abgewogen. Die Zählung erfolgte durch zwei Beobachter und es wurde erst dann die betreffende Menge, die abgewogen bereit stand, als verbraucht in das Protokoll eingetragen, wenn dieselbe zum Verfeuern übergeben war.

Bei Bestimmung der gesammten Brennstoffmenge wurde darauf gesehen, dass nicht fremde Brennstoffe unabsichtlich oder absichtlich zum Verfeuern gelangten und dass der Zustand des Feuers zu Ende des Versuches derselbe wurde wie zu Anfang. Um den Fehler möglichst klein zu halten, der dadurch entsteht, dass man die auf dem Roste verbleibende Brennstoffmenge nur nach dem Augenschein schätzt, wurde der Versuch stets mit „durchgebranntem“ oder „kleinem“ Feuer begonnen und beendigt. Mit Rücksicht besonders auf diesen Fehler nahm man die Versuchsdauer so gross als möglich (8—10 Stunden); durchschnittlich betrug sie bei 23 Versuchen nahe 9 Stunden.

Ausser der Rostbelastung und Anstrengung ist auch die Belastung und Anstrengung der Heizfläche des Kessels berechnet worden. Gewöhnlich wird die Anstrengung der Heizfläche nach der Dampfmenge, welche 1 *qm* stündlich liefert, beurtheilt. Eine andere Bestimmungsweise ist die, dass man die stündliche Brennstoffmenge angiebt, die auf 1 *qm* der Gesammtheizfläche entfällt. Diese Anstrengung ist auch nur so aufzufassen wie die Rostbelastung: sie ist bei gleicher Brennstoffart ein Maass für die Anstrengung. Bei Berücksichtigung des Heizwerthes des Brennstoffes gelangt man jedoch ähnlich wie bei der Rostanstrengung zu dem Ausdruck

$$\frac{B\,H_c}{F}$$

für die Anstrengung der Heizfläche und erkennt leicht, dass dazu auch die Intensität der Dampfentwickelung in direktem Verhältnisse steht. Letztere, welche weiter unten besprochen wird, ist jedoch noch zutreffender bestimmt, wenn man die Zahl der Wärmeeinheiten angiebt, die 1 *qm* der Heizfläche für die Dampfentwickelung stündlich nutzbar macht.

Für die Dampfentwickelung ist es von wesentlichem Einfluss, welche Wasserspiegelfläche der stündlichen Dampfmenge geboten wird. Grosse Dampfmengen bei kleinen Wasserspiegelflächen bringen eine stürmische Verdampfung und Dampfabscheidung mit sich. Der Wassergehalt des Dampfes hängt nicht nur von der Länge des Weges ab, den die Dampfbläschen durch das Wasser zu nehmen haben, sondern auch davon, auf welchen Strömungsquerschnitt zusammengedrängt sie den Wasserspiegel verlassen müssen. Die Cornwallkessel sind in dieser Beziehung allen anderen Kesseln vorzuziehen; ihre grossen Spiegelflächen sichern selbst bei grossen Anstrengungen eine ruhige Verdampfung. Die Engfeuerröhren-Kessel stehen ihnen weit nach, und bei den meisten Wasserrohrkesseln müssen besondere Mittel angewendet werden, um die Dampfabscheidung zu einer geregelten und einigermaassen ruhigen zu machen.

Das Verhältniss der Spiegelfläche O zur Rostfläche R als auch zur Heizfläche ist als Kriterium für die Dampfabscheidung aus dem Wasser angegeben.

Die Werthe $\frac{O}{R}$ und $\frac{O}{F}$ sind jedoch besser durch die Werthe

$$\frac{O}{\frac{B H_c R}{R}} \text{ und } \frac{O}{\frac{B H_c F}{F}}$$

zu ersetzen.

Für die wahre Belastung der Wasserspiegelfläche giebt es jedoch noch einen zuverlässigeren und einfacheren Werth.

Derselbe ist $\frac{S}{O}$.

In diesem Ausdrucke ist S die stündliche Dampfmenge. Wäre die stündliche Dampfmenge 1500 *kg* und die Spiegelfläche 20 *qm*, so müsste 1 *qm* derselben $1500:20 = 75$ *kg* Dampf stündlich abscheiden. Es ist selbstverständlich, dass sich die Dampfabscheidung nicht gleichmässig über die ganze Wassermenge im Kessel und noch weniger gleichmässig über die Spiegelfläche vertheilt und dass gewisse Stellen an den Kesselblechen, wo Spitzen und Kanten sich finden, die Veranlassung zu stürmischer Dampfabscheidung geben; diese Vorgänge entziehen sich jedoch einer Vorausbestimmung und man wird sich mit dem Kriterium $\frac{S}{O}$ begnügen müssen.

Es ist aber gewiss, dass bei Kesseln, bei welchen eine sehr kleine Spiegelfläche zu Gebote steht, eine Schaumbildung eintritt, die das „Mitreissen" von Wasser sehr befördert oder gar ein Ueberschäumen, besonders bei unreinem Kesselwasser, herbeiführt. Die Wasserröhrenkessel besitzen in den Röhren sehr kleine Querschnitte für die Dampfabströmung nach den Wasserkammern, so dass $\frac{S}{O}$ oft 3000 *kg* beträgt. Diese Wasserschaumströme gehen durch den Hals der Wasserkammer und erzeugen im Oberkessel einen wahren Geiser, wenn nicht besondere Abscheide- und Vertheilungsvorrichtungen angebracht sind, oder wenn man nicht für einzelne Röhrenschichten besondere Dampfräume anordnet. Alle diese Vorkehrungen können jedoch das Uebel nicht vollständig beseitigen.

4. Herdrückstände.

Vor dem Versuche wurden stets „Asche" und „Schlacken" gezogen. Zu Ende der Versuchszeit ergab sich durch Wägung der Aschen- und Schlackenmenge und durch Division mit der Brennstoffmenge der Werth μ, die Aschen- und Schlackenmenge für 1 *kg* Brennstoff. Asche und Schlacken wurden getrennt gewogen und so die Werthe

$$\mu = \mu_1 + \mu_2$$

gefunden.

Die Flugasche μ_f konnte fast niemals direkt bestimmt werden, da es nicht möglich ist, die noch Tags zuvor im Betrieb stehenden Kessel zu befahren. Da jedoch aus der Analyse die absolute Asche bekannt ist, und der Betrag des Verbrennlichen in Asche und Schlacken nach dem Versuche ebenfalls durch die chemische Analyse festgestellt wurde, so ergiebt sich die Menge der Flugasche, wenn man

$$\mu_0 \, \mu$$

als das Verbrennliche in der Asche in Rechnung stellt aus der Beziehung

$$\mu + \mu_f = A + \mu_0 \, \mu$$

und

$$\mu_f = A - (1 - \mu_0) \, \mu;$$

dabei ist vorausgesetzt, dass in der Flugasche Verbrennliches nicht mehr vorhanden ist.

Wenn bei einigen Versuchen μ_f sich als negativ ergab, so kommt dies daher, dass Schlacke und Asche unter den Rost gelangten, die aus der Zeit vor dem Versuche herrührten.

Zur Bestimmung des „Rostverlustes" wurde die gewonnene Schlacke und Asche, deren Gewicht gleich nach dem Herausnehmen bestimmt war, auf ihren calorimetrischen Heizwerth h_t untersucht. Es beträgt daher der durch die Unvollkommenheit der Rostkonstruktion sich ergebende Verlust an Wärmemenge für 1 *kg* Brennstoff h_t Calorien.

Der Betrag $\mu + \mu_f$ ist bei Berechnung der Menge der aus 1 *g* Brennstoff entstehenden Gasmenge (Verbrennungsprodukt) in Betracht gezogen, so dass aus der zugeführten Verbrennungsluft

$$L = m \, L_o$$

einschliesslich der Sekundärluft und der auf dem Rost zur Verbrennung gelangendem Brennstoffmenge

$$B - (\mu + \mu_f) \, B$$

$$G = B \, (1 + m \cdot L_o - \mu - \mu_f)$$

Gase entstehen. Die Flugasche ist ebenfalls in Abzug gebracht, weil sich der grösste Theil davon in den Zügen absetzt.

5. Die Rauchgasanalyse.

Durch die chemische Untersuchung der Verbrennungsprodukte wird der volumetrische Gehalt an Kohlensäure, freiem Sauerstoff, Kohlenoxyd und Methan bestimmt. Bei vollkommener Verbrennung findet sich in den Gasen nur Kohlensäure, freier Sauerstoff, schweflige Säure und Wasserdampf, aber kein Kohlenoxyd und ebenso kein Methan.

Da bei vollkommener Verbrennung ohne Luftüberschuss kein Sauerstoff in den Gasen vorhanden sein würde, sondern nur Kohlensäure neben Stickstoff, Wasserdampf und schwefliger Säure, so ist aus dem Ergebniss der Analyse zu erkennen, wie viel überschüssige Luft bei der Verbrennung zugeführt wurde. Untersucht man die Verbrennungsprodukte, bevor sie in die gemauerten Zugkanäle gelangen, also am Ende der Flamm- oder der Feuerrohre bei Innenfeuerung und nahe an der Feuerung bei Aussenfeuerung, so wird man aus der Menge des gefundenen Sauerstoffs oder der Kohlen-

säure auf den Luftüberschuss bei der Verbrennung schliessen können. Entnimmt man dagegen Verbrennungsgase am Ende der Feuerzüge, so wird die Menge des gefundenen Sauerstoffs oder der Kohlensäure erkennen lassen, wie viel Luft (Beiluft L_1) durch die unvermeidlichen Risse und Spalten und durch die Poren des Mauerwerkes in die Feuerzüge eingedrungen ist. Der Sauerstoffgehalt zeigt sich dann, wenn Beiluft zugetreten ist, stets grösser, der kohlensaure Gehalt kleiner. Die Beiluft bewirkt nicht nur eine Herabsetzung der Temperatur der Heizgase in den gemauerten Feuerzügen (also eine innere Abkühlung), sondern auch einen Wärmeverlust durch die Erwärmung der mit Temperatur τ_1 von aussen zutretenden Luft auf die Temperatur t_1 mit der die gesammte Gasmenge die Heizflächen verlassen.

Der Verlust der Beiluft ist demnach

$$Q_b = c'_p\, L_1\, (t_1 - \tau_1).$$

Die Menge an Kohlensäure, die sich bei vollkommener Verbrennung von 1 *kg* Kohlenstoff bildet, ist:

$$\left(1 + \frac{8}{3}\right) kg = \frac{11}{3}\, kg,$$

da zu 1 *kg* Kohlenstoff $\frac{2 \cdot 16}{12}\, kg = \frac{8}{3}\, kg$ Sauerstoff hinzutreten. Die in 1 *kg* atmosphärischer Luft enthaltene Sauerstoffmenge beträgt $n\, kg = 0{,}2356\, kg$; es ist somit zur Bildung von Kohlensäure und 1 *kg* Kohlenstoff eine Luftmenge von

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{1}{n} \cdot kg = \frac{8}{3} \cdot 4{,}2445\, kg = 11{,}32\, kg$$

erforderlich.

Die bei diesem Prozess entstehende Gasmenge setzt sich zusammen aus:

$$\frac{11}{3}\, kg \text{ Kohlensäure} + \frac{8}{3}\left(\frac{1}{n} - 1\right) kg \text{ Stickstoff},$$

welche Summe 12,32 *kg* Gase ergiebt.

Das Gewichtsverhältniss der Kohlensäure zur Gasmenge:

$$\varphi'_k = \frac{\frac{11}{3}\, C}{\frac{11}{3} C + \frac{8}{3}\left(\frac{1}{n} - 1\right) C} = \frac{1}{1 + \frac{8}{11}\left(\frac{1}{n} - 1\right)} =$$

$$\varphi'_k = \frac{1}{1 + \frac{8}{11}\, 3{,}2445} = 0{,}2971.$$

Dieses Ergebniss steht nahezu zu erwarten, wenn ohne Luftüberschuss, also mit $m = 1$, reiner Kohlenstoff vollkommen verbrennt (Anthracit, Graphit).

Das Volumenverhältniss der Kohlensäure zu der entstandenen Gasmenge φ_k wird erhalten, wenn man die Gewichte durch Division mit den spezifischen Gewichten auf ihr Volumen reduzirt. Ist das Gewicht von 1 *cbm* Kohlensäure bei 0° und 760 *mm* Barometerstand

$$\gamma_k = 1{,}9779$$

und dasjenige des Stickstoffes

$$\gamma_n = 1{,}2566$$

so wird mit $\frac{1}{n} = 4{,}2445$ und $C = 1\, kg$

$$\varphi_k = \frac{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}}{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k} + \frac{8}{3}\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{C}{\gamma_n}} = 0{,}212$$

d. h. es enthalten die Verbrennungsprodukte

21,2 % Kohlensäure.

Dieser Betrag wird jedoch auch bei vollkommener Verbrennung von Kohlenstoff mit Luftüberschuss, also bei

$$m = \frac{L}{L_0} > 1$$

nicht erreicht.

Das Verhältniss wird dann

$$\varphi_k = \frac{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}}{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k} + (m - 1)\frac{8}{3}\frac{C}{\gamma_0} + m\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{8}{3}\frac{C}{\gamma_n}}.$$

Da $\gamma_0 = 1{,}4302$ ist, so folgt mit den schon angegebenen Werthen von γ_k und γ_n

$$\varphi_k = \frac{0{,}2121}{m},$$

so dass z. B. bei $m = 2$

$$\varphi_k = 0{,}106 \text{ oder } 10{,}6 \text{ Volumen } \%$$

beträgt.

Hat man durch die volumetrische Gasanalyse φ_k gefunden, so ergiebt sich das Verhältniss der zugeführten Luftmenge L zu der chemischen oder theoretischen L_0 aus der Beziehung

$$m = \frac{0{,}2121}{\varphi_k}.$$

Bei vollkommener Verbrennung von 1 *kg* Brennstoff, der aus *C kg* Kohlenstoff, *H kg* Wasserstoff, *O kg* Sauerstoff, *S kg* Schwefel, *N kg* Stickstoff, *W kg* Wasser und *A kg* Asche besteht, ist die chemische Luftmenge

$$L_0 = \frac{1}{n}\left[\frac{8}{3} C + 8\left(H - \frac{1}{8} O\right) + S\right],$$

worin $\frac{1}{n}$ das Verhältniss der Luft zum Sauerstoff und

$$\frac{8}{3} C + 8\left(H - \frac{1}{8} O\right) + S = O_0$$

die erforderliche Sauerstoffmenge bezeichnet.

Es ist daher kürzer

$$L_0 = \frac{O_0}{n}.$$

Zu den Bestandtheilen

C, H, O, S, N, W und A

von 1 *kg* Brennstoff treten die Luftmengen bei der Verbrennung mit m facher chemischer Luftmenge die Gasmengen hinzu:

1) $\frac{8}{3}C + (m-1)\frac{8}{3}C$ Sauerstoff

$+ m\left(\frac{1}{n}-1\right)\frac{8}{3}C$ Stickstoff,

2) $+8\left(H-\frac{1}{8}O\right)+(m-1)8\left(H-\frac{1}{8}O\right)$ Sauerstoff

$+m\left(\frac{1}{n}-1\right)8\left(H-\frac{1}{8}O\right)$ Stickstoff,

3) $+S+(m-1)S$ Sauerstoff $+\,m\left(\frac{1}{n}-1\right)S$ Stickstoff.

Die Summe ergiebt mit Rücksicht auf die entstehenden chemischen Verbindungen:

$\frac{11}{3}C$ Kohlensäure $+\,(m-1)\,O_0$ freien Sauerstoff,

$+\,m\left(\frac{1}{n}-1\right)O_0$ Stickstoff $+\,2\,S$ schweflige Säure

$+\,(9\,H+W)$ Wasserdampf $+\,1\,A$ Asche

$+\,1\,N$ Stickstoff.

Da bei der volumetrischen Gasanalyse ausser kleinen Mengen von CO und CH_4 nur der Sauerstoff und der Stickstoff in der Bürette erscheinen, während die übrigen Bestandtheile vom Wasser absorbirt werden, so findet man das Verhältniss der Kohlensäure zu den Bürettegasen aus der Beziehung

$$\varphi_k = \frac{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}}{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}+(m-1)\frac{O_0}{\gamma_0}+m\left(\frac{1}{n}-1\right)\frac{O_0}{\gamma_n}+\frac{N}{\gamma_n}},$$

worin wieder C der Kohlenstoff in 1 *kg* Brennstoff, $\gamma_k = 1{,}9779$, $\gamma_0 = 1{,}4302$, $\gamma_n = 1{,}2566$, $\frac{1}{n} = 4{,}2445$, N der Stickstoffgehalt, m das Verhältniss $\frac{L}{L_0}$ und

$$O_0 = \frac{8}{3}C + 8\left(H-\frac{1}{8}O\right)+S$$

zu setzen ist.

Es ist demnach

$$\varphi_k = \frac{1}{1+0{,}4293\frac{N}{C}+1{,}7695\frac{O_0}{C}m-0{,}3769\frac{O_0}{C}}$$

und das Verhältniss

$$m = \frac{\frac{1}{\varphi_k}-1-0{,}4293\frac{N}{C}+0{,}3760\frac{O_0}{C}}{1{,}7094\frac{O_0}{C}}.$$

In dieser Formel kann das Glied $0{,}4293\frac{N}{C}$ unbedenklich vernachlässigt werden, weil gewöhnlich nicht mehr als 1 % Stickstoff in dem Brennstoffe enthalten ist, während C selbst bei Braunkohlen nahe 0,5 wird.

Man erhält daher sehr annähernd

$$\varphi_k = \frac{1}{1+(1{,}7695\,m-0{,}3769)\frac{O_0}{C}}$$

und

$$m = \frac{\frac{1}{\varphi_k}-1+0{,}3769\frac{O_0}{C}}{1{,}7694\frac{O_0}{C}}.$$

Für reinen Kohlenstoff gehen diese Werthe über in

$$\varphi_k = \frac{0{,}2121}{m} \text{ und } m = \frac{0{,}2121}{\varphi_k}.$$

Es ist bemerkenswerth, dass die Verschiedenheit in der Zusammensetzung der Brennstoffe nur einen untergeordneten Einfluss auf die Werthe φ_k und m ausübt, während der Luftüberschuss, welcher sich durch $(m-1)\,L_0$ bestimmt, den Kohlensäure-Gehalt sowie den Gehalt an Sauerstoff wesentlich beeinflusst.

Für den Brennstoff des Versuches XX ist $C = 0{,}4927$, $H = 0{,}0448$, $O = 0{,}1099$, $N = 0{,}0122$, $S = 0{,}018$, $W = 0{,}2658$, $A = 0{,}0628$ und die zugehörige Luftmenge $L_0 = 6{,}70$ *kg*. Bei $m = 1$ würde hierbei als Kohlensäure-Gehalt sich ergeben, da

$$\frac{O_0}{C} = \frac{1{,}582}{0{,}4927} = 3{,}2$$

ist

$$\varphi_k = 0{,}185 \sim 18^1/_2\,\%.$$

Für den Versuch XX z. B. war der Werth φ_k zu 0,0913 gefunden worden; die zugeführte Luftmenge war daher $L = m\,L_0 = 1{,}909\,L_0$ und der Luftüberschuss betrug $0{,}909\,L_0$.

Die chemische Luftmenge ist hier aus der Analyse der Kohle durch Rechnung bestimmt.

Nach dem Satze von Welter lässt sich die chemische Luftmenge auch aus dem calorimetrischen Werth H_c des Brennstoffs berechnen, wenn man die Verdampfungswärme für $(9\,H+W)$ zu H_c hinzufügt. Nach Welter's calorimetrischem Satze kann man die Verbrennung auch so auffassen, als ob der Sauerstoff,

der bei der Verbrennung in den Prozess eintritt, der Brennstoff wäre.

Hiernach ist die chemische Luftmenge

$$L'_0 = 4{,}2445 \cdot \frac{8}{3} \cdot \frac{H_c + 606{,}5\,(9\,H + W)}{8080}.$$

Für den Versuch XX ist

$$H_c = 5046 \text{ und } 9\,H + W = 0{,}669,$$

folglich

$$L'_0 = 7{,}638 \text{ und } O_0 = 0{,}2356 \cdot L'_0 = 1{,}799 \; kg,$$

während oben nach der Analyse die Sauerstoffmenge zu 1,582 *kg* berechnet wurde.

Mit $O_0 = 1{,}799$ ergiebt sich nach der Formel

$$m = \frac{\frac{1}{\varphi_k} - 1 + 0{,}3769 \frac{O_0}{C},}{1{,}7694 \frac{O_0}{C}} = 1{,}972.$$

Bei den ausgeführten Berechnungen ist stets die Sauerstoffmenge O_0, welche sich aus der chemischen L'_0 Luftmenge nach Welter ergiebt, eingesetzt*). Es ist

$$O_0 = 0{,}2356\, L'_0.$$

Das Verhältniss m kann auch aus dem bei der Analyse gefundenen Sauerstoff berechnet werden. Ist φ_0 der volumetrische Gehalt der Bürettengase, so ist

$$\varphi_0 = \frac{(m-1)\frac{O_0}{\gamma_0}}{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k} + (m-1)\frac{O_0}{\gamma_0} + m\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{O_0}{\gamma_n} + \frac{N}{\gamma_n}}$$

wofür wieder

$$\varphi_0 = \frac{(m-1)\frac{O_0}{\gamma_0}}{\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k} + (m-1)\frac{O_0}{\gamma_0} + m\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{O_0}{\gamma_n}}$$

gesetzt werden kann.

Das Verhältniss der zugeführten Luftmenge zu der chemischen Luftmenge L'_0 ist daher

$$m = \frac{\frac{O_0}{\gamma_0} + \varphi_0\left(\frac{O_0}{\gamma_0} + \frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}\right)}{\frac{O_0}{\gamma_0} - \varphi_0\left[\frac{O_0}{\gamma_0} + \frac{O_0}{\gamma_n}\left(\frac{1}{n} - 1\right)\right]}$$

oder mit den bekannten Werthen für $\frac{1}{n}$, γ_k, γ_n, γ_0,

$$m = \frac{1 + \left(1 + 2{,}684\frac{C}{O_0}\right)\varphi_0}{1 - 4{,}7\,\varphi_0}.$$

*) Wenn man die Ausführungsschwierigkeiten einer Elementaranalyse der Brennstoffe erwägt, so muss man den Ergebnissen aus der calorimetrischen Heizkraft-Bestimmung eine weit grössere Zuverlässigkeit einräumen, als denjenigen aus der Elementaranalyse.

Man braucht somit nur ausser dem volumetrisch gefundenen Werthe φ_0 den Kohlenstoff-Gehalt des Brennstoffs und die zugehörige Sauerstoffmenge der chemischen Luftmenge L'_0 einzusetzen, um auch aus φ_0 die zugeführte Luftmenge

$$L = m\, L'_0$$

berechnen zu können.

Noch ist es von Interesse zu wissen, welchen Werth die durch die Gasanalyse gefundene Summe von

$$\varphi_0 \text{ und } \varphi_k$$

bei verschiedenen Brennstoffen und Verbrennungsluftmengen annehmen kann. Aus der Summe von φ_k und φ_0 erhält man, nach Division mit $\frac{11}{3}\frac{C}{\gamma_k}$

$$\varphi' = \frac{1 + \frac{3}{11}\frac{\gamma_k}{\gamma_0}(m-1)\frac{O_0}{C}}{1 + \frac{3}{11}\frac{\gamma_k}{\gamma_0}(m-1)\frac{O_0}{\gamma} + \frac{3}{11}\frac{\gamma_k}{\gamma_n} m\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{O_0}{C} + \frac{3}{11}\frac{\gamma_k}{\gamma_n}\frac{N}{C}}.$$

Für reinen Kohlenstoff ist

$$C = 1 \quad N = 0 \quad \frac{O_0}{C} = \frac{8}{3}.$$

Bei Verbrennung mit $m = 1$ wird

$$\varphi' = \frac{1}{1 + \frac{3}{11}\frac{\gamma_k}{\gamma_n}\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{O_0}{C}} = \frac{1}{1 + \frac{3}{11} 1{,}574 \cdot 3{,}2445 \cdot \frac{8}{3}} =$$

$$\varphi' = 0{,}212, \text{ also } 21{,}2\,\%.$$

Für gewöhnliche Kohle und 2fache chemische Luftmenge wird

$$\varphi' \cong 0{,}20 \text{ oder } 20\,\%.$$

Man hat somit die Regel, dass die Summe aus den Sauerstoff- und Kohlensäure-Volumprozenten annähernd „20“ betragen muss, wenn $m = 2$ ist.

Es giebt jedoch Brennstoffe, welche bei geringerer Luftzuführung weit weniger für diese Summe ergeben. Für $\frac{O_0}{C} = 3$ und $m = 1$ wird z. B.

$$\varphi' = 0{,}188 \text{ oder } 18{,}8\,\%.$$

Auch aus φ' kann man die Luftmenge, die bei der Verbrennung zugetreten ist, bestimmen. Diese Bestimmung kann zur Kontrole dienen.

Bei den vorliegenden Versuchen wurde der Werth m zumeist aus dem Kohlensäure-Betrag φ_k berechnet und der Werth φ_0 für den Sauerstoff wurde in Rechnung gestellt, wenn bezüglich der Richtigkeit der Kohlensäure-Bestimmung Zweifel vorlagen.

Es muss hier darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Gasanalyse durch Absaugen der Verbrennungs-

gase aus dem Flammrohr und besonders aus dem Fuchs oft mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist, weil es nicht sofort gelingt, das Saugerohrende an jene Stelle der Feuerzüge zu bringen, wo die Zusammensetzung der Gase eine mittlere ist.

Haben die Gase an der Stelle, wo sie entnommen werden, noch höhere Temperaturen als am Ende des Flammrohres, wo sie noch 500⁰ bis 600⁰ besitzen können, so ist auch für Kühlung des Saugerohres Sorge zu tragen. In solchen Fällen wurde das doppelwandige Rohr mit Wasserzirkulation verwendet. Um Oxydation und Reduktion zu vermeiden, empfiehlt es sich, in das Eisenrohr ein Glasrohr einzusetzen.

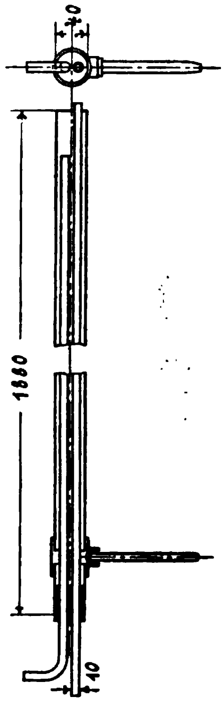


Fig. 1.

Bei Ausführung der volumetrischen Gasanalyse ist darauf zu achten, dass das verwendete Wasser vorher durch innige Berührung mit Heizgasen mit Kohlensäure gesättigt ist und dass bei der Sauerstoffabsorption die Temperatur nicht zu niedrig sei und etwa 15⁰ betrage. Die Absorption des Sauerstoffs geht verhältnissmässig langsam von Statten und man muss so lange warten, bis der Phosphor nicht mehr leuchtet. Bei 15⁰ sind 3 Minuten Zeit für die Absorption des Sauerstoffs stets genügend.

Es ist noch zu erwähnen, dass bei Berechnung der Luftmenge aus den Ergebnissen der Rauchgasanalyse, im Falle Kohlenoxydgas oder Sumpfgas auftritt, in den oben angeführten Formeln eine Korrektur stattzufinden hätte. Dieselbe ist unschwer anzubringen, indem man bloss den in CO und CH_4 enthaltenen Kohlenstoffgehalt c von C abzieht und ebenso die in CH_4 gefundene Wasserstoffmenge berücksichtigt und endlich die entstandenen Gase einschliesslich der gemessenen Mengen von CO und CH_4 in Rechnung bringt. Da bei den hier vorliegenden Versuchen nur einige Male ganz kleine Mengen von CO und CH_4 auftraten, so ist die Korrektur unterlassen worden.

Hat man durch die Rauchgasanalyse die zur Verbrennung zugeführte Luftmenge $L = mL'_0$ und die am Ende der Feuerzüge in den Heizgasen enthaltene Luftmenge L' gefunden, so erhält man die Menge der in den Heizkanälen zugetretenen Beiluft

$$L_1 = L' - L.$$

Das Verhältniss der Beiluft zur chemischen Luftmenge ist

$$m_0 = \frac{L_1}{L'_0}.$$

Nunmehr kann man auch die Gasmenge G'_0 berechnen, welche in den Flammröhren dahinströmt und die Menge G_0, die am Ende der Feuerkanäle nach dem Schornstein abzieht (Fuchsgase).

Es ist

$$G'_0 = 1 + mL'_0 - \mu - \mu_f$$
$$= 1 + mL'_0 - (\mu + \mu_f)$$

und

$$G_0 = 1 + mL'_0 - (\mu + \mu_f) + L_1,$$

wenn man mit L_1 die Menge der Beiluft bezeichnet, die für 1 *kg* Brennstoff durch das Mauerwerk in die Heizkanäle eingedrungen ist. Die Beiluft bestimmt sich aus der Analyse der Fuchsgase und der Flammrohrgase. Zeigt die Fuchsgasanalyse ein Verhältniss

$$m' = \frac{L'}{L'_0}$$

und zeigen die Flammrohrgase

$$m = \frac{L}{L'_0},$$

so erhält man

$$L_1 = L' - L = L'_0 (m' - m)$$

und das Verhältniss der Beiluft zur chemischen Luftmenge

$$m_0 = \frac{L_1}{L'_0} = m' - m;$$

die für 1 *kg* angesaugte Beiluftmenge ist

$$L_1 = m_0 L'_0.$$

In den Tabellen für die einzelnen Versuche ist noch die Luftmenge l_0 angegeben, welche nach Abzug der für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke erforderlichen chemischen Luftmenge zur Verbrennung zugeführt werden müsste. Der wirkliche Luftüberschuss ist daher stets etwas grösser, als er durch das Verhältniss

$$m = \frac{L}{L'_0}$$

angegeben wird.

7. Die Rauchbildung.

Die Rauchbildung wurde zunächst durch Beobachtung der Rauchdichte an der Mündung des Schornsteins durch den Augenschein festgestellt, und es wurde der Beginn und das Ende der einzelnen Rauchperioden notirt. Die scheinbare Rauchdichte wurde durch folgende Dichtenskala bezeichnet:

1. fast kein Rauch,
2. sehr schwacher Rauch,
3. schwacher Rauch,
4. starker Rauch,
5. sehr starker Rauch.

Da es jedoch sehr schwierig ist, stets den Stärkegrad zu schätzen, weil es von der Art der Beleuchtung, von der Windrichtung und vom Standpunkte des Beobachters abhängig ist, wie die dem Schornstein entsteigende Rauchsäule erscheint, so wurde die wirkliche Rauchdichte, und zwar die mittlere, gleichzeitig mit der Gasanalyse aus dem Russgehalt der Fuchsgase bestimmt.

Die gefundene Russmenge in 1 *cbm* der Bürettengase wurde auf 1 *kg* Brennstoff bezogen. Aus der Russmenge G_r, welche für jedes Kilogramm Brennstoff dem Schornstein entsteigt, berechnet sich der Verlust, der bei der Verbrennung durch Reduktion eines Theiles der schon gebildeten Kohlensäure zu Kohlenoxyd unter Ausscheidung von Kohlenstoff entsteht.

Für die Beurtheilung des Kohlenstoff-Verlustes durch Russbildung aus dem Ansehen des Rauches ist es von Interesse, das Gewicht von 1 *cbm* Russ zu kennen, um daraus das Verhältniss des Russvolumens zum Volumen der Verbrennungsprodukte in dem Zustand, wie sie den Schornstein verlassen, zu erhalten. Die Bestimmung des Russgewichtes ist sehr schwierig; es gelingt nicht, den Russ, während man ihn auffängt und zur Wägung bringt, in seinem ausserordentlich leichten und flüchtigen Zustande zu erhalten, in welchem er mit den heissen Gasen in die Lüfte steigt. Eine mit möglichster Vorsicht ausgeführte Wägung von Russ einer Feuerung, in welcher ein Gemisch von Stein- und Braunkohlen zur Verwendung gelangte, ergab für 1 *ccm* ein Gewicht von 0,0111 *g*, so dass $\gamma_r = 11{,}1$ *kg* zu setzen wäre.

Die optische Rauchdichte, der Grad der Dunkelheit oder Undurchsichtigkeit des Rauches würde sich hieraus berechnen lassen, wenn man die mittlere Grösse der Russtheilchen, die man als kugelförmig annehmen dürfte, kennen würde. Untersuchungen dieser Art stehen noch aus und man muss sich zunächst damit begnügen, zu wissen, wieviel Russ dem Gewichte und dem Volumen nach in 1 *cbm* der Rauchgase enthalten ist. Beobachtet man gleichzeitig die mittlere Dunkelheit des Rauches durch den Augenschein, so erhält man die Beziehung zwischen mittlerer wahrer Rauchdichte und der optischen Rauchdichte. Um die einzelnen Stufen einer Skala für die optische Rauchdichte (Undurchsichtigkeit) zu erhalten, könnte man sich der von Hille (Civilingen. XL. Band, 4. Heft) angegebenen Methode bedienen.

Das Verhältniss des Russvolumens zu dem zugehörigen Volumen der Rauchgase wird immerhin schon den Grad der optischen Rauchdichte annähernd bestimmen.

Dieses Verhältniss ist in den Versuchstabellen ebenfalls angegeben. Man erhält es, wenn man die für 1 *kg* Brennstoffe gefundene Russmenge durch ihr spezifisches Gewicht γ_r (annähernd $= 11{,}1$ *kg*) und durch das Gasvolumen für 1 *kg* Brennstoff dividirt. Es ist selbstverständlich, dass man hierzu die Temperatur kennen muss, die die Rauchgase an der Schornsteinmündung besitzen. Annähernd wird man dafür die Fuchstemperatur t_1 einführen dürfen. Die optische Rauchdichte wird jedenfalls mit dem Werthe

$$d = \frac{\gamma \cdot G_r}{\gamma_r (1 + \alpha t_1) G'}$$

wachsen.

Für den Versuch XXII z. B. betrüge dieselbe

$$d = \frac{0{,}01341 \cdot 1{,}294}{11{,}1 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 327{,}6\right) 17{,}09}$$

$$d = 0{,}0000416.$$

Für die optische Rauchdichte wird es ferner von Einfluss sein, ob die Rauchsäule einen grossen oder kleinen Durchmesser hat, und ob der Schornstein rechteckigen oder runden Querschnitt besitzt.

8. Gasmengen.

Zu den oben unter „Luftmengen" näher bezeichneten Gasmengen ist noch zu bemerken, dass man unterscheiden kann: die Gasmenge, welche das Ergebniss des Verbrennungsvorgangs ist und die um die Beiluft vermehrte Gasmenge, oder die Menge der den Kessel verlassenden Gase. Aus erster Menge berechnet sich der reine Verlust durch die abziehenden Gase, während aus der Beiluft ein Verlust entspringt, der ihrer Erwärmung von der Aussentemperatur auf die Endtemperatur t_1 entspricht.

9. Gluthtemperatur.

Als Gluthtemperatur hätte man die Temperatur anzusehen, welche am Ausgangspunkte der Verbrennung eintritt. Diese müsste, wenn nur Kohlenstoff mit Sauerstoff oder Luft verbrennt, stets dieselbe sein. Ebenso würde da, wo Wasserstoff verbrennt, stets eine und dieselbe sehr hohe Temperatur herrschen.

Für den Fall, dass Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlensäure verbrennt, müsste sich eine Temperatur

ergeben, welche man erhält, wenn man die bei der Verbrennung von Kohlenstoff frei werdende Wärme über 0^0 auf die entstandene Kohlensäure-Menge vertheilt. Ist der Heizwerth von 1 *kg* Kohlenstoff

$$H_c = 8080 \text{ cal.},$$

so ist auf $\frac{11}{3}$ *kg* Kohlensäure, welche sich bilden, die Wärmemenge von 8080 Cal. zu vertheilen. Mit der spezifischen Wärme der Kohlensäure $c_p = 0{,}2169$ berechnet sich die Verbrennungstemperatur, da $\frac{8}{3}$ *kg* Sauerstoff und 1 *kg* Kohlenstoff $\frac{3}{11}$ *kg* Kohlensäure bilden, zu

$$t_3 = \frac{8080}{0{,}2169} \frac{3}{11} = 10169^0 \text{ Celsius.}$$

Wird der Sauerstoff mit dem Stickstoff der atmosphärischen Luft zugeführt, so wird die Gasmenge

$$1 + \frac{1}{n} \frac{8}{3} \, kg$$

und die Anfangstemperatur, da

$$\frac{1}{n} = 4{,}2445$$

ist,

$$t_3 = \frac{8080}{0{,}2169 \left(1 + \frac{8}{3} 4{,}2445\right)} = 3025^0,$$

wobei 12,318 *kg* Gase gebildet werden.

Bei 2 facher Luftmenge würde

$$t_3 = \frac{8080}{0{,}2169 \left(1 + 2 \frac{8}{3} 4{,}2445\right)} = 1586^0.$$

Verbrennt 1 *kg* Brennstoff von der Zusammensetzung

$$C, H, O, N, S, W, A$$

mit der *m* fachen chemischen Luftmenge, also mit

$$m L_0 = m \left(\frac{1}{n} - 1\right) \left\{\frac{8}{3} C + 8 H - O + S\right\}$$

so entstehen folgende Wärmemengen:

1. vom Kohlenstoff 8080 Cal.,
2. vom Wasserstoff $34462 \left(H - \frac{1}{8} O\right)$,
3. vom Schwefel $2500\, S$.

Von diesen ist die Wärmemenge zur Verdampfung des entstehenden Wassers

$$= 606{,}5\, (9\, H + W)$$

abzuziehen.

Wenn man die spezifische Wärme des Verbrennungs-

produktes zu 0,246 annimmt, wie es gewöhnlich geschieht, so erhält man aus der Beziehung

$$c_p t_3 \left(1 + \frac{m}{n} O_0\right) = 8080\, C + 34462 \left(H - \frac{1}{8} O\right) + 2500\, S - 606{,}5\, (W + 9\, H),$$

$$t_3 = \frac{8080 C + 34462 \left(H - \frac{1}{8} O\right) + 2500 S - 606{,}5 (9 H + W)}{0{,}246 \cdot (1 + 4{,}2445 \cdot m\, O_0)}.$$

Für einen gegebenen Brennstoff lässt sich daher die Temperatur berechnen. Für den Versuch XX z. B. gilt:

$C = 0{,}4907$, $H = 0{,}0448$, $S = 0{,}018$, $O = 0{,}1099$, $\left(H - \frac{1}{8} O\right) = 0{,}3107$, $9 H + W = 0{,}669$, $O_0 = 1{,}799$,

und bei

$$m = 1{,}972 \quad \text{sowie} \quad L'_0 = 15{,}06$$

wird

$$t_3 = \frac{4727{,}7}{3{,}704} = 1273^0,$$

Diese Temperatur würden ohne „Rostverlust“ und bei vollkommener Verbrennung die Verbrennungsprodukte besitzen, wenn der Feuerherd keine äussere Abkühlung besässe und wenn direkte Heizflächen, in welche Einstrahlung stattfinden kann, nicht vorhanden wären. Dissoziation könnte übrigens ebenfalls eintreten.

In den Versuchsprotokollen sind die Gluth- oder Anfangstemperaturen mit Rücksicht auf diese Umstände angegeben.

Ist der Rostverlust μh_t, der äussere Abkühlungsverlust der Feuerung Q'_a, und beträgt der Verlust durch unvollkommene Verbrennung Q_v, so kann in den Gasen nur eine Wärmemenge von

$$H_c - \mu h_t - Q_v - Q'_a$$

enthalten sein.

Wird vom Feuer noch durch Strahlung eine gewisse Wärmemenge Q_1 abgegeben, so nehmen die Verbrennungsprodukte nur noch die Wärmemenge

$$H_c - \mu h_t - Q_v - Q'_a - Q_1$$

mit sich, um an die indirekte Heizfläche durch Berührung die Wärmemenge Q_2 abzugeben.

Die Anfangstemperatur wird demnach

$$t'_3 = \frac{H_c - \mu h_t - Q_v - Q'_a - Q_1}{H_c} \cdot t_3.$$

Für den erwähnten Versuch ist

$\mu = 0{,}0712$, $h_t = 1894$ cal., $Q_r = 135$, $Q_v = 19$, $Q'_a = 321$, $Q_c = 0{,}25$, H_c und $H_t = 5046$.

Mit diesen Werthen ergiebt sich

$$t'_3 = 1194^0.$$

Hier ist der calorimetrische Heizwerth H_c an Stelle des theoretischen H_t eingeführt.

Für die Einstrahlung, welche als unabhängig von der Grösse der bestrahlten Fläche angesehen wird, ist nach dem Vorgange von Peclet ein Strahlungskoeffizient $\eta'_2 =$ dem Wirkungsgrade der direkten Heizfläche angenommen worden. Dieser Strahlungskoeffizient ist schätzungsweise mit 0,30 bei Innenfeuerung, zu 0,25 bei Unterfeuerung in Rechnung gestellt worden. Bei „Vorfeuerung“ ist meist eine bestrahlte Kesselheizfläche nicht vorhanden und die bestrahlten Gewölbe, welche Glühkörper bilden, strahlen zurück auf den Feuerherd. Nur in dem Falle, wo die Glühkörper nach der Kesselheizfläche strahlen können, oder die glühende Brennstoffschicht einer Vorfeuerung der Kessel „sehen“ kann, muss auf Einstrahlung Rücksicht genommen werden. Dieser Fall lag vor bei dem Versuch II und es ist für denselben der Einstrahlungskoeffizient $\eta'_2 = 0{,}2$ angenommen worden, weil nur die glühenden Gewölbtheile strahlen. Die Gluthtemperatur ist in mehreren Fällen auf calorimetrischem Wege gemessen worden. In vielen Fällen war eine solche Messung wegen der grossen Schwierigkeiten der Ein- und Ausbringung des calorimetrischen Bolzens unterlassen worden. Diese Unterlassung rechtfertigt sich besonders dann, wenn es nach Art der Feuerung nicht ausführbar ist, den Bolzen an jener Stelle im Feuerraum oder des Rostes einzubringen, wo die zu messende mittlere Anfangstemperatur herrscht und man auch befürchten muss, dass beim Herausnehmen eine zu bedeutende Temperaturerniedrigung im Feuerraum eintritt. Bei einigen Versuchen wurde der Bolzen in ein Lokomotivrohr von entsprechender Länge eingebracht und nach Verstopfung des äusseren Rohrendes so eingeführt, dass er sich auf der Oberfläche der Feuerschicht erhielt. Es konnte jedoch nicht verhindert werden, dass das den Bolzen einschliessende Rohrende beim Schüren oder beim Nachrutschen des Brennstoffes zu tief nach unten an eine Stelle gelangte, wo das Feuer nicht die mittlere Anfangstemperatur besass. Einige Male war es jedoch möglich, das Rohr mit dem Bolzen in den Flammenraum dicht über der Brennstoffschicht einzubringen. Diese Messungen ergaben ein besseres Resultat.

Das Calorimeter bestand aus einem Zinkkübel von etwa 9 *l* Inhalt, der in einen zweiten Holzkübel so eingesetzt war, dass ein Zwischenraum zur Aufnahme einer dicken Filzschicht verblieb. Der Apparat war mit einer Mischvorrichtung versehen und besass einen gutschliessenden Deckel mit Wärmeschutz und ein

Thermometer zur Messung der Temperaturdifferenz des Calorimeterwassers. Der Bolzen von circa 1—1,5 *kg* Gewicht bestand aus Schmiedeeisen. Nachdem das Wasser im Calorimeter mit letzterem gewogen und die Wassertemperatur bestimmt war, wurde der hinreichend lange im Feuer gehaltene Bolzen rasch in das Wasser gebracht, das Calorimeter bedeckt, und durch Handhabung der Mischungsvorrichtung beschleunigte man die Temperaturausgleichung. In dem Momente, da das Thermometer die Neigung zum Fallen zeigte, fand die Ablesung der Temperatur statt. Durch richtige Bemessung der Wassermenge wurde jede erhebliche Dampfbildung hintangehalten. Den Wärmewerth des Calorimetergefässes bestimmte man dadurch, dass man nach Entleerung desselben eine bestimmte Menge Wasser eingoss, um die Wärme, welche in die Wandungen eingedrungen war, zurück zu holen. Aus der Erwärmung dieser Wassermenge bestimmte sich die Gefässwärme (ca. 5 Cal.). Es sei das Gewicht des Bolzens G, dessen spezifische Wärme für die zu messende Temperatur c, die Temperatur, welche er im Flammenraum angenommen hat t_3, so ist die Wärmemenge über 0^0 in demselben

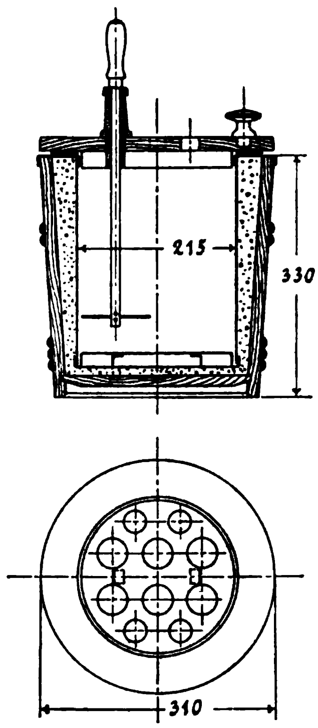


Fig. 2.

$$Q = cGt_3.$$

Das Calorimeterwasser habe das Gewicht G_1 und zeige eine Erwärmung von

$$\tau_2 - \tau_1 = \tau;$$

deren Wassermenge G_2 zum Zurückholen der Gefässwärme habe sich um $\tau^0_4 - \tau^0_3$ erhöht, so wird, wenn man die Flüssigkeitswärmen, welche diesen Temperaturen entsprechen, mit

$$q_1, q_2, q_3, q_4$$

bezeichnet

$$cGt_3 = G_1(q_2 - q_1) + G_2(q_4 - q_3)$$

und

$$t_3 = \frac{G(q_2 - q_1) + G_1(q_4 - q_3)}{cG}.$$

Beim Versuche Nr. V brachte ein Bolzen vom Ge-

wichte $G = 1{,}013\ kg$ in der Wassermenge $G_1 = 8{,}88\ kg$ eine Temperaturerhöhung von $\tau_1 = 14{,}9^0$ auf $\tau_2 = 32{,}6$ hervor. Das Wasser für die Gefässwärme $G_2 = 8{,}69\ kg$ erwärmt sich von $\tau_3 = 13{,}5$ auf $\tau_4 = 14{,}0$.

Andere der bekannten Methoden zur Messung der Temperatur des Flammenraumes sind nicht angewendet worden, weil sie zuverlässige Resultate bisher nicht ergeben haben. In dieser Richtung muss jedoch in Zukunft mehr gethan werden. Die calorimetrische Bestimmung leidet an mehreren Mängeln. Zunächst ist, es sei nur erwähnt, kaum zu erreichen, dass der Bolzen die wahre mittlere Flammenraum-Temperatur annimmt, und dann ist eine Abkühlung desselben nicht zu umgehen, bevor er in das Calorimeter gelangt. Ganz erheblich ist ausserdem noch die Unbestimmtheit der spezifischen Wärme des Eisens bei sehr hoher Temperatur.

Ein entsprechend eingerichtetes Luftthermometer wird vielleicht die zuverlässigsten Ergebnisse liefern.

Es giebt aber noch eine andere Methode, um die Anfangstemperatur der Verbrennungsprodukte ziemlich zutreffend zu bestimmen. Ist der Heizwerth des Brennstoffes calorimetrisch bestimmt und kennt man die Erzeugungswärme für 1 kg Dampf, also die Wärmemenge, die in den Kessel übergeführt wurde, ferner die Luftmenge aus der Rauchgasanalyse, den Rostverlust und daraus mit t_2 den Verlust bei der Verbrennung, so bleiben nur die äusseren Verluste zunächst unbestimmt. Diese werden als Rest gefunden, wenn man die durch den Versuch bestimmten Wärmemengen vom Heizwerth des Brennstoffes abzieht. Es bleibt daher nur noch eine Unbestimmtheit bezüglich der Vertheilung des gesammten äusseren Abkühlungsverlustes auf die Feuerung und auf den Kessel. Diese Vertheilung ist einstweilen nur schätzungsweise möglich und man wird etwa Folgendes festsetzen können:

1. Bei Innenfeuerung die äussere Abkühlung des Feuerherdes

$$Q'_a = 0{,}2\, Q_a.$$

2. Bei Unterfeuerung

$$Q'_a = 0{,}4\, Q_a.$$

3. Bei Generatorfeuerung, die in die Erde gebaut ist

$$Q'_a = 0{,}6\, Q_a,$$

wobei

$$Q_a = H_c - Q_r - Q_v - Q_e - Q_b - Q_g$$

ist.

Dabei ist Q_e die aus dem Brennstoff entnommene, zur Dampfentwickelung verbrauchte Wärmemenge, Q_b der Verlust durch die Beiluft und Q_g der Verlust durch die abziehenden Heizgase ohne die Beiluft. Macht man noch über die Vertheilung von $Q_e = Q_1 + Q_2$ auf die „direkte“ und die „indirekte“ Heizfläche eine möglichst zutreffende Annahme, so kann man auch annähernd die Temperatur t_2 der Gase, welche die direkte Heizfläche bestreichen, berechnen.

Die Vertheilung von Q ist bestimmt, sobald der Einstrahlungskoeffizient η'_2 gegeben ist.

Für Innenfeuerung soll $\eta'_2 = 0{,}25$, für Unterfeuerung 0,2 sein.

Es wird also die Anfangstemperatur im Flammenraum aus

$$c_p t_3 G_0 = H_c - (Q_r + Q_v + Q'_a)$$

$$= c_p t_3 (1 + mL'_0 - (\mu + \mu_f)) = H_c - [Q_r + Q_v + Q'_a],$$

$$t_3 = \frac{[H - (Q_r + Q_v + Q'_a)]}{c_p\,(1 + mL'_0 - (\mu + \mu_f))},$$

und die Temperatur der Gase, nachdem sie die direkte Heizfläche verlassen haben, wird sein

$$t_2 = (1 - \eta'_2)\, t_3.$$

Zieht man noch die Wärmemenge in Betracht, die mit der Verbrennungsluft der Temperatur der Feuerung zugeführt wird, so hat man noch das Glied

$$c_p m L'_0 \tau_1$$

im Zähler hinzuzufügen, und man erhält

$$t_3 = \frac{H_c - (Q_r + Q_v + Q'_a) + c'_p m L'_0 \tau_1}{c_p\,(1 + mL'_0 - \mu - \mu_f)}$$

und wie oben

$$t_2 = (1 - \eta'_2)\, t_3.$$

Es ist hier zu bemerken, dass an Stelle $c_p \tau_1$, wie stets, genauer

$$q_1 = \int_0^{\tau_1} c_p\, d\tau$$

einzuführen wäre und dass auch noch die Wärmemenge, die 1 kg Brennstoff von der Temperatur τ_1 hinzubringt, in der Formel für t_3 fehlt. Diese sehr kleinen Ungenauigkeiten sollen jedoch ausser Acht gelassen werden. Für die spezifische Wärme c_p kann mit Rücksicht auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft und ihre Temperatur 0,24 eingesetzt werden.

Für den mehr erwähnten Versuch sind somit folgende Werthe in der Formel für t_3 einzusetzen:

$$H_c = 5046,\ Q_r = 135,\ Q_v = 19,\ Q'_a = 321,\ \eta'_1 = 0{,}25,$$
$$c_p = 0{,}246,\ 1 + mL'_0 = 15{,}06,\ \mu + \mu_f = 0{,}0712 + 0{,}0085,$$
$$c_p = 0{,}24,\ mL'_0 = 14{,}06,\ \tau_1 = 6^0.$$

Mit diesen Werthen wird

$$t_3 = 1246^0$$

und

$$t_2 = 934{,}5.$$

Wesentliche Bedenken bei Berechnung von t_3 und t_2 können nicht bestehen, weil bei einem Fehler in der Vertheilung von Q_a auf Q'_a und Q''_a, sowie bei der Wahl von η'_2 das Ergebniss nur um wenige Prozente unrichtig ausfallen kann.

Schliesslich ist zu bemerken, dass die Anfangstemperatur, die man nach der vorstehenden Berechnung erhält, als eine solche anzusehen ist, die, wenn sie auch nicht wirklich eintreten sollte, doch die Intensität der Wärmequelle für den Kessel richtig angiebt. Die Einstrahlung kann bewirken, dass schon im Flammenraum die Gase nur die Temperatur $t_2 = (1 - \eta'_2)\ t_3$ besitzen. Ob diese Gase auch noch durch Leitung Wärme an die bestrahlte Heizfläche abgeben können, dies ist eine Frage, die bis jetzt wohl noch nicht bestimmt beantwortet worden ist. Es erscheint aber möglich, dass durch Strahlung und Leitung Wärme aufgenommen wird, wenn die Oberflächentemperatur der bestrahlten Fläche geringer bleibt als die Temperatur der Gase ist, nachdem der Feuerherd schon durch Ausstrahlung Wärme abgegeben hat. Findet Strahlung und Leitung gleichzeitig statt, so bestimmt der „Strahlungskoeffizient" eben die Wärmemenge, die der Wärmequelle auf beide Arten durch die direkte Heizfläche entzogen worden ist.

Die **Fuchstemperatur** wurde stets **vor** dem Schieber gemessen, wobei sowohl Graphitpyrometer als Quecksilberthermometer mit Stickstofffüllung Verwendung fanden. Die letzteren erwiesen sich als sehr brauchbar.

Die Temperatur der Gase im Fuchs ist um so niedriger, je unvollkommener die Feuerung ist und je mehr Wärme der Kessel aufgenommen hat; sie sinkt aber auch mit wachsendem Luftüberschuss. Die Beiluft, welche eine innere Abkühlung bewirkt, vermindert somit auch die Endtemperatur t_1 der Gase.

Die „Güte" des Brennstoffs ist auf die Temperaturen t_1 und t_3 wenig von Einfluss, denn geringwerthiger Brennstoff enthält wenig Kohlenstoff, und wenn auch der Wasserstoffgehalt etwas wechselt, so ist doch auch eine entsprechend geringere Luftmenge erforderlich. Bei demselben Luftüberschuss, also bei demselben Verhältniss von

$$\frac{L}{L'_0}$$

und bei gleichbleibendem Wirkungsgrade der Feuerung ist die Anfangstemperatur auch fast dieselbe wie bei hochwerthigem Brennstoffe. Die Bezeichnung „**schlechter**" Brennstoff deutet nur darauf hin, dass derselbe in der Feuerung nicht so gut zur Wirkung gebracht werden

kann als guter Brennstoff. Dies ist besonders dann der Fall, wenn starke Schlackenbildung eintritt, wodurch alsdann leicht die Luftzuführung zu sehr gehemmt wird und das öftere „Schlackenziehen" ein längeres Offenhalten der Feuerthüre nothwendig macht. Die während des Schlackens im Uebermaass zutretende Luft bewirkt eine Herabsetzung der Temperatur nicht nur im Feuerraum, sondern in allen Feuerzügen und eine Abkühlung der Feuerbleche und der Wandungen der Feuerzüge. Zweimaliges Schlacken von 5 bis 10 Minuten Dauer während eines Versuchs zieht die Ausnutzung des Brennstoffs schon erheblich herab. Dass sonst aber sehr verschiedenartige Brennstoffe bei gleichem Verhältniss des Luftüberschusses zur chemischen Luftmenge fast dieselbe Anfangstemperatur ergeben, lässt sich leicht zeigen. Es war die Anfangstemperatur, wenn man sie aus der Elementaranalyse berechnet

$$t_3 = \frac{H_t - (Q_r + Q_v + Q'_a) + c_p' m L_0 \tau_1}{c_p (1 + m L'_0 - \mu - \mu_f)}.$$

Nun ist

$$L_0 = \frac{1}{n} O_0 \text{ und } O_0 = \frac{8}{3} C + 8H - O + S;$$

es ist aber

$$H_t = 8080c + 34462\left(H - \frac{1}{8}O\right) + 2500S - 606{,}5(9H + W),$$

folglich wird

$$t_3 = \frac{8080 + 34462\left(H - \frac{1}{8}O\right) + 2500S - 606{,}5(9H + W) - \Sigma Q_v + c_p \tau_1 L_0}{c_p\left(1 + \frac{m}{n} O_0 - \mu - \mu_f\right)}.$$

Für einen hochwerthigen Brennstoff wäre
$C = 0{,}7862$, $H = 0{,}0464$, $O = 1{,}006$, $N = 0$, $S = 0$, $W = 0{,}0341$, $A = 0{,}0317$, $H_t = 7325{,}06$, $O_0 = 2{,}366$, $\tau_1 = 0$, $m = 2$, $\mu + \mu_f = 0{,}04$, $c_p = 0{,}246$ und

$$\frac{Q_r + Q_v + Q_a}{H_t} = 0{,}1,$$

so ergiebt sich

$$1 + mL = 20{,}0$$
$$t_3 = 1269{,}5_0.$$

Für einen geringwerthigen Brennstoff sei
$C = 0{,}45$, $H = 0{,}04$, $O = 0{,}10$, $N = 0{,}01$, $S = 0{,}015$, $W = 0{,}30$, $A = 0{,}095$, $H_t = 4120$, $O_0 = 1{,}371$, $\tau_1 = 0$, $m = 2$, $1 + mL = 12{,}14$, $\mu + \mu_f = 0{,}1$, $c_p = 0{,}246$ und

$$\frac{Q_r + Q_v + Q_a}{H_t} = 0{,}1,$$

dann wird $t_3 = 1251{,}7^0$ also nur $1{,}4\,^0/_0$ kleiner als für die hochwerthigen Brennstoffe.

Man sieht, dass die Temperaturen unter sonst gleichen Umständen nur sehr wenig verschieden aus-

fallen, denn die Luftmenge nimmt annähernd in demselben Verhältniss ab, wie der Heizwerth.

Man ist stets bestrebt, den Kesselbetrieb so zu leiten, dass die Endtemperatur, also die Fuchstemperatur möglichst gering ausfällt und glaubt dadurch schon eine Gewähr dafür zu haben, dass der Brennstoff gut ausgenützt wird. Diese Annahme ist jedoch völlig irrig. Die Herabziehung der Anfangstemperatur der Gase kann, wie schon erwähnt, auch durch die Menge der überschüssigen Verbrennungsluft erfolgt sein. Ausserdem zieht die Beiluft bei allen Kesseln, die nicht nur innere Heizflächen besitzen, t_1 herab. Dass endlich bei manchen Kesselsystemen die äussere Abkühlung und die Unvollkommenheit der Feuerungsanlagen dieselbe Wirkung haben können, ist einleuchtend. Eine niedrige Fuchstemperatur ist nur dann ein Zeichen, dass eine gute Brennstoffausnützung stattgefunden hat, wenn gleichzeitig mit dem geringsten Luftüberschuss gefeuert wird, bei dem eine gute Wirkung der Feuerung noch möglich ist. Die Grösse des Luftüberschusses ist sofort aus dem Kohlensäuregehalt oder aus dem Sauerstoffgehalt der Fuchsgase, besser noch der Flammrohrgase zu erkennen, und man wird auch ohne Verdampfungsversuch und ohne Wägung von Brennstoff und Speisewasser sofort ein Urtheil über die Güte der Kesselanlage in Bezug auf Brennstoffausnützung erhalten, wenn man die Kohlensäuremenge in den Rauchgasen und die Fuchstemperatur beobachtet. Je niedriger die Fuchstemperatur ist, und je grösser aber der Kohlensäuregehalt der Gase, desto höher ist der Wirkungsgrad der Kesselanlage. Das „Kriterium“ wird einfach sein

$$K = \frac{\textit{Kohlensäuregehalt}}{\textit{Fuchstemperatur}} = \frac{\varphi_k}{t_1}.$$

Wegen des kleinen Werthes von K wird man lieber das 1000fache nehmen und das Kriterium

$$K = \frac{1000\,\varphi_k}{t_1}$$

setzen.

Um zu erkennen, wie der zu beurtheilende Kesselbetrieb beschaffen ist, muss man den grössten jeweiligen Werth von K kennen, derselbe ist

$$K_{\max} = \frac{1000\,\varphi_{k\max}}{t_{1\min}}$$

Das Maximum des Kohlensäuregehalts kann man für den verwendeten Brennstoff auch aus der bereits angeführten Formel finden, wenn man $m = 1$ setzt und also annimmt, dass ohne Luftüberschuss gefeuert wurde.

Es ist

$$\varphi_{k\max} = \frac{1}{1 + \frac{3}{11}\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{O_0\,\gamma_k}{\gamma_n} + \frac{3}{11}\,\frac{N}{C}\,\frac{\gamma_k}{\gamma_n}},$$

oder

$$\varphi_{k\max} = \frac{1}{1 + 1{,}7694\,\frac{O_0}{C} - 3769\,\frac{O_0}{C} + 0{,}4293\,\frac{N}{C}}$$

$$= \frac{1}{1 + 0{,}4293\,\frac{N}{C} + 1{,}3925\,\frac{O_0}{C}}.$$

Für reinen Kohlenstoff ist

$$\varphi_{k\max} = 0{,}212.$$

Das Minimum der Fuchstemperatur, das natürlich ebenso wie das Maximum des Kohlensäuregehaltes unerreichbar ist, kann nur die Kesseltemperatur t_0 sein.

Dieser kleinste Werth, der nur bei unendlich grosser Heizfläche erreicht wird, ergiebt natürlich auch nur dann die grösste Ausnützung des Brennstoffes, wenn der Wirkungsgrad der Feuerung $= 1$ wird und wenn Verluste durch Beiluft sowie durch äussere Abkühlung nicht auftreten.

Es wird also

$$K_{\max} = \frac{1000\,\varphi_{k\max}}{t_0}$$

sein.

Dieser Werth entspricht aber noch immer nicht der vollen Ausnützung, weil immer noch Wärme durch Fuchsgase von der Temperatur t_0 des Kesselinnern abzieht.

Durch diese Betrachtung kommt man naturgemäss darauf zu, H_0 nicht als disponible Wärme von 1 *kg* Brennstoff anzusehen, weil selbst bei vollkommenster Wirkung der Kesselanlage die Gase nicht kühler als das Kesselinnere abziehen können. Wie weiter unten gezeigt werden wird, muss die disponible Wärmemenge von 1 *kg* Brennstoff für den Kesselbetrieb durch die Wärmemenge $H_0 - c_p\,G_{\min}\,t_0$ dargestellt werden, mit der selbst bei unendlich grosser Heizfläche und bei dem Wirkungsgrade der Feuerung $= 1$ bei einem Kessel ohne äussere Abkühlung und mit ganz wärme- und luftdichter Einhüllung das Minimum der Gasmenge mit dem Minimum der Endtemperatur den Kessel verlassen muss.

Das Kriterium für reinen Kohlenstoff und für Dampf von 100° Celsius wäre

$$K_{\max} = \frac{1000 \cdot 0{,}212}{100} = 2{,}12$$

für einen Kessel, dessen Gase ein Maximum von Kohlensäure von

$$\varphi_k = 0{,}18$$

aufweisen können und bei dem die Fuchstemperatur 300° ist, hat ein Kriterium von

$$K_{max} = \frac{1000 \cdot 0,18}{300} = 0,6.$$

Ist bei einem Kessel

$$K = \frac{1000 \cdot 0,1}{300} = 0,33,$$

so kann man schliessen, dass er eine gute Ausnutzung des Brennstoffes nicht bewirkt. Der Werth K ist nun nicht einfach proportional dem Wirkungsgrade, sondern steht dazu in einem verwickelterem Verhältniss. Wie der Wirkungsgrad mit K steigt, kann nur durch Versuche bestimmt werden, und auch den Grad der Annäherung an den Werth K_{max} kann man im Voraus nicht einfach berechnen, aber die Grösse der Differenz zwischen K_{max} und K wird erkennen lassen, wie viel zur Hebung der Oekonomie zu thun noch übrig bleibt.

E. Die Zugwirkung.

Die Zugstärke ergab sich aus den Ablesungen an dem Piezometer, das durch ein Rohr mit dem Zugkanal vor dem Schieber in Verbindung stand. Das Piezometer bestand aus einer einfachen Uförmig gebogenen Röhre mit Wasserfüllung. Zur Verdeutlichung des Flüssigkeitsstandes wurde das Wasser mit Karminroth gefärbt. Die an beiden Schenkeln des Piezometerrohres angebrachte Millimeterskala ermöglichte bei entsprechender Achtsamkeit die Ablesung der Niveaudifferenz auf $^1/_2$ *mm*. In einigen Fällen wurde ein zweiter Zugmesser angebracht (der Zugmesser von Simonis & Lanz, der aus einer durch eine schwache Feder gehaltenen, in einem Gehäuse spielenden Zunge besteht).

Durch den Ueberdruck der Atmosphäre gegenüber dem durch den Zugmesser angegebenen geringen Vacuum erfolgt der Eintritt der Verbrennungsluft unter dem Rost und auch der sekundären Luft, die bei einigen der untersuchten Feuerungen entweder am Fülltrichter oder in der Nähe der Feuerbrücke der Feuerung zugeführt wurde.

Die Zuführungsgeschwindigkeit der Luft konnte stets aus der stündlich zuströmenden Verbrennungsluft und aus der Grösse der Rostspaltenfläche bestimmt werden. Ist die Rostspaltenfläche R_0 *qm* und die stündliche Luftmenge $m' L'_0 B$ *kg*, so ist die Geschwindigkeit der Luft in den Rostspalten, wenn noch γ_0 das spezifische Gewicht der Luft bei normalen Verhältnissen und τ_2 ihre Temperatur bezeichnet,

$$w = \frac{mL'_0}{3600\,\gamma_0}\left(\frac{273+\tau_2}{273}\right)\frac{B}{R_0}.$$

Für den Versuch XX gilt

$mL'_0 = 15,06$, $B = 125,74$, $\gamma_0 = 1,294$, $\tau_2 = 6^0$, $R_0 = 0,546$, womit sich die Luftgeschwindigkeit

$$w = 0,76\,m$$

ergiebt.

Diese Geschwindigkeit ist in Wirklichkeit wegen der Erwärmung der Luft zwischen den Rostspalten etwas zu klein, es ist jedoch nicht ausführbar, die wahre Lufttemperatur dort zu messen.

Von der Zugstärke, d. h. von der Geschwindigkeit, mit der das Feuer angeblasen wird, und von der zugeführten Luftmenge hängt die Brennstoffmenge ab, welche stündlich auf dem Rost verbrannt werden kann. Ausserdem kommen noch die Natur des Brennstoffes und die Schichthöhe in Betracht.

Die stündlich auf 1 *qm* Rostfläche verbrauchte Brennstoffmenge, oder die Rostbelastung $\frac{B}{R}$ ergiebt unmittelbar die Verbrennungsgeschwindigkeit c.

Denkt man sich Brennstoff gleichmässig auf den Rost vertheilt und gleichmässig verbrennend, so wird die Dicke dieser Brennstoffschicht in der Stunde um 3600 c abgenommen haben, wenn c die Dicke der Schicht bezeichnet, die in 1 Sekunde verbrennt.

Die Verbrennungsgeschwindigkeit ist daher

$$c = \frac{B}{3600\,\gamma\,R} \text{ und } \frac{B}{R} = 3600\,\gamma\,c,$$

wenn γ das spezifische Gewicht des Brennstoffes bezeichnet.

Diese Geschwindigkeit ist jedoch als eine mittlere zu betrachten, da der Brennstoff nicht gleichmässig rasch „abbrennt“.

Die thatsächliche Verbrennungsgeschwindigkeit, welche von der Zugstärke und der Luftmenge abhängt, ist gewöhnlich sehr klein; sie betrug während des Versuchs XX nur

$$c = \frac{125,74}{3600 \cdot 1300 \cdot 1,91} = 0,0141\,mm,$$

denn es war

$B = 125,74$ *kg*, $R = 1,91$ *qm* und $\gamma = 1300$ *kg*.

Die erforderliche Geschwindigkeit, um auf einer gegebenen Rostfläche eine bestimmte Brennstoffmenge zu verbrennen, hat die grösste mögliche Verbrennungsgeschwindigkeit zur Grenze. Ueber diese mögliche, jedem Brennstoff eigene Verbrennungsgeschwindigkeit fehlen nähere Untersuchungen. Eine raschere Verbrennung als der zur Verbrennung zugeführte Luftmenge

entspricht, kann aber natürlich auf keinen Fall stattfinden.

Führt man daher die Luftmenge

$$3600\,\gamma\,c\,R = L_0\,B = \frac{1}{n}\,O_0\,B = \frac{1}{0{,}2356}\,O_0\,B,$$

also nur die chemische Luftmenge für B Brennstoff zu, so kann die Verbrennung nicht rascher vor sich gehen, als es diese Beziehung bestimmt.

Da nun

$$B = \frac{n \cdot 3600 \cdot \gamma_0 w \cdot R}{O_0}$$

oder

$$\frac{B}{R} = \frac{n \cdot 3600 \cdot \gamma_0 w}{O_0}\,\frac{R_0}{R}$$

ist, so erkennt man, dass die sogenannte Rostbelastung mit wachsender Luftgeschwindigkeit und mit dem Verhältniss der freien zur ganzen Rostfläche grösser wird.

„Hochwerthiger“ Brennstoff, für den die erforderliche Sauerstoffmenge O_0 gross ist, verbrennt daher unter sonst gleichen Umständen langsamer als „geringwerthiger“.

Da nun w von der Zugstärke, also von dem Piezometerstande abhängig ist, so kann man auch diesen an Stelle von w in die Formel für die Rostbelastung einführen. Setzt man voraus, dass die Luftgeschwindigkeit nach der Formel $w = \varphi\sqrt{2\,g\,h}$ berechnet werden darf, was hier zulässig erscheint, so erhält man, wenn $h\,mm$ die Zugstärke angiebt, den Ueberdruck auf 1 qm

$$p = \frac{h\,mm}{1000} \cdot 1000,$$

$$p = h\,mm$$

und damit die Geschwindigkeit der Luft, wenn keine Widerstände vorhanden wären,

$$w_0 = \sqrt{2\,g\,\frac{h\,mm}{\gamma_0}}.$$

Da der Ueberdruck jedoch zur Erzeugung der Geschwindigkeit und zur Ueberwindung der grossen Strömungswiderstände verwendet wird, so ergiebt sich

$$w = \sqrt{\frac{1}{1 + \Sigma\xi}}\,\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}\,\sqrt{h\,mm}\,.$$

Die Summe aller Widerstände, welche die Luft bei ihrer Bewegung durch den Rost, die Brennstoffschicht und durch die Zugkanäle zu überwinden hat, ist bei einer gegebenen Feuerung eine gegebene konstante Grösse; man kann daher setzen

$$w = C\sqrt{h\,mm},$$

wobei

$$\sqrt{\frac{1}{1 + \Sigma\xi}}\,\sqrt{\frac{2g}{\gamma}} = C$$

ist, und somit wird

$$\frac{B}{R} = C_1\,\frac{1}{O_0}\,\frac{R_0}{R}\,\sqrt{h\,mm};$$

die Rostbelastung kann demnach mit der Wurzel aus dem Piezometerstand des Zugmessers vergrössert werden, so lange die grösste Verbrennungsgeschwindigkeit des Brennstoffes nicht dadurch überschritten wird.

Die Verbrennungsgeschwindigkeit lässt sich auch unter Benutzung der letzten Formel, wie folgt schreiben:

$$c = C_2\,\frac{1}{O_0}\left(\frac{B}{R}\right)\sqrt{h\,mm}.$$

Durch die Zugstärke ist auch die Menge der Beiluft bedingt, welche durch das Kesselmauerwerk und durch die unvermeidlichen Risse desselben in die Züge eindringt. Die Beiluft führt zwar eine geringe Wärmemenge dem Kessel zu und sie vermehrt die Menge der Gase, sie bewirkt aber dennoch nur einen Wärmeverlust.

Die durch Beiluft $L_1\,kg$ für 1 kg Brennstoff zugeführte Wärmemenge ist

$$Q'_b = c_p'\,L_1\,\tau_1 = 0{,}24\,m_0\,L'_0,$$

wenn man mit m_0 das Verhältniss $\frac{L_1}{L'_0}$ bezeichnet.

Eine andere Wärmemenge, die dem Kessel ebenfalls durch die Zugwirkung zugeführt wird, ist diejenige in der Verbrennungsluft

$$Q'_l = 0{,}24\,L\,\tau_1.$$

Die Temperatur τ_2 der Luft, welche dem Kessel zugeführt wird, ist zwar meist eine höhere als die Aussentemperatur τ_1 und nur im Sommer findet man zuweilen τ_1 grösser als τ_2. Da aber die zugeführte Luft nur die vom Kessel eben empfangene Wärme demselben wieder zuführt, so ist es richtiger, τ_1 in Rechnung einzuführen.

Die mittlere Gasgeschwindigkeit endlich in den „Zügen“ ergiebt sich aus der Gasmenge und aus dem mittleren Querschnitt der Kanäle zu:

$$w_m = \frac{(1 + mL'_0 - \mu - \mu_f)\,B + L_1 B}{3600\,\gamma_m\,f_5}.$$

In der Flammröhre ist sie jedoch etwas geringer, da die Beiluft nicht eingetreten ist. Das spezifische Gewicht ist aus Zusammensetzung der Gase mit Rücksicht auf die abnehmende Temperatur zu berechnen.

F. Die Speisung.

Man überzeugte sich vor dem Versuche stets, dass die Speiseleitung nur mit dem zu untersuchenden

Kessel in Verbindung stand, und dass weder an der Leitung noch am Schlammhahn Undichtheiten vorhanden sind. Der Schlammhahn und der Schlüssel dazu sind bei solchen Versuchen wohl im Auge zu behalten, wo die Befürchtung begründet ist, dass von Seiten der Bedienungsmannschaft durch zeitweiliges Oeffnen des Schlammhahnes der Versuch gemacht werden könnte, das Verdampfungsergebniss günstiger gestalten zu wollen. Um alle Bedenken in dieser Richtung auszuschliessen, soll der Schlammhahn plombirt werden. Das Speisewasser wurde gewöhnlich in Fässern (Petroleumfässern), die tarirt auf der Wage standen, zur Speisung bereit gestellt. Es wurde jedesmal die Temperatur desselben bestimmt, ehe es zur Speisung nach dem Speisewasserbehälter abgelassen wurde. In jedem Fasse war stets genau dieselbe Menge von 50 *kg* bis 200 *kg* durch Zugiessen mit einem Handschöpfer bereit gestellt. Die Zählung der während des Versuches verbrauchten Speisewassermengen erfolgte doppelt und unter Angabe der Zeit.

In einigen Fällen musste die Bestimmung der Speisewassermengen durch Aichung des Speisewasserbehälters erfolgen. Bei der Aichung wurde die Aichwasser-Temperatur in Rücksicht gezogen. Tropfwasser, das etwa an den Kesseln zu bemerken war, wurde aufgefangen und dem Speisebehälter zugeführt.

Um den Fehler soweit als möglich zu verringern, der durch die Verschiedenheit des Zustandes im Innern des Kessels zu Anfang und zu Ende des Versuches entstehen kann, beachte man folgende Regeln:

1. Der Versuch beginne und endige bei durchgebranntem kleinen Feuer;

2. die Zugklappe habe zu Ende dieselbe Stellung wie zu Anfang;

3. die Ablesung der Dampfspannung am Kontrolmanometer erfolge jedesmal bei geöffnetem Dampfventil;

4. die Dampfspannung soll während des Versuches möglichst wenig verändert werden;

5. die Endspannung ist auf die Höhe der Anfangsspannung zu bringen;

6. der mittlere Wasserstand ist gut einzuhalten;

7. der Anfangswasserstand ist zu Ende des Versuches etwa 5—10 Minuten nach der letzten Speisung bei demselben Stande des Dampfventils wieder herzustellen;

8. die Ablesung der Wasserstände zu Anfang und zu Ende des Versuches erfolge unter Drosselung mit dem unteren Hahne des einen Wasserstandszeigers; die Wiederherstellung der Anfangsstellung muss gesichert werden. Es ist hier darauf aufmerksam zu machen, dass man die Drosselung nicht zu lange dauern lässt, damit nicht durch zu starke Abkühlung des unteren Theiles der Glasröhre ein Zerspringen veranlasst werde;

9. der Anfangswasserstand wird zweifellos bezeichnet, indem man ein „Stichmaass“ aus einem Holzstäbchen so zurichtet, dass seine Länge die Höhe des Meniscus des Wasserstandes über einen festen Punkt der Wasserstandsglasfassung angiebt. Von der Mutter aus zu messen, soll jedoch vermieden werden;

10. alle Ablesungen und Beobachtungen, die den Zustand des Kessels betreffen, sollen möglichst gleichzeitig, die Ablesungen des Dampfdruckes aber gleichzeitig mit der des Wasserstandes erfolgen.

Bei Kesseln mit grossen Spiegelflächen muss man den Wasserstand sehr genau ablesen, da 1 *mm* auf 1 *qm* schon 1 *kg* und bei den gewöhnlichen Flammrohrkesseln schon einem Fehler von 15—20 *kg* entspricht. Es war nicht immer möglich, Dampfdruck und Wasserstand auf die Anfangswerthe zu bringen, die Verdampfungswassermenge musste dann aus der Speisewassermenge $\pm$ dem Wassergewichte, das dem Volumen zwischen den Wasserständen entsprach, berechnet werden.

Hierzu wurden die Sehnen der Anfangs- und Endwasserstände in die Kesselzeichnung eingetragen und unter Berücksichtigung der Temperatur und des Ausdehnungskoeffizienten des Wassers das Gewicht berechnet, das den Speisewasserraum-Differenzen entsprach.

Die Förderung des Speisewassers erfolgt entweder durch einen vom Versuchskessel betriebenen Injektor, oder durch eine von einem andern Kessel betriebene Speisepumpe. Wurde mit eigenem Injektor gespeist, so wurde das „Schlabberwasser“ in den Speisewasserbehälter zurückgeführt, und man sah von den kleinen Abkühlungsverlusten des Injektors ganz ab.

Bei Speisung mit der Dampfpumpe stellt sich die Sache mit Rücksicht auf die dem Kessel zugeführte Wassermenge etwas anders, weil der kleine Betrag der Speisearbeitswärme in Rechnung zu stellen ist. Diese Speisearbeitswärme ist bei Bestimmung der Erzeugungswärme des ausströmenden Dampfes berücksichtigt worden.

In den Versuchsprotokollen sind die Zeiten der Speiseperioden und ihre Dauer verzeichnet. Es wurde darauf gehalten, dass die Speisung möglichst gleichmässig und mit nur kurzen Unterbrechungen erfolgte. Oefter jedoch konnte diese Regel nicht befolgt werden. Die stündliche Speisewassermenge S mit der Versuchszeit Z ergab die ganze Speisewasser- oder „Dampfmenge“

$$ZS.$$

Die mittlere Speisewassertemperatur τ_0 berechnete sich aus den für jede einzelne Speisemenge beobachteten Einzeltemperaturen. Da die Flüssigkeitswärme q_0, welche statt τ_0 in die calorimetrischen Berechnungen einzuführen wäre, bei einigen Temperaturen nur wenig von τ_0 verschieden ist, so wurde meist letztere in die Berechnungen eingeführt.

G. Die Verdampfung.

1. Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch das Dampfventil und man liess während der ganzen Versuchsdauer den Dampf unter Drosselung in die Atmosphäre ausströmen. In einigen Fällen, wo es nicht anging, die gewöhnliche Betriebsweise des Kessels zu unterbrechen, und wo der Dampf einer Dampfmaschine oder einer Färberei zugeführt wurde, war nur ein „Probedampfrohr" an einem Domstutzen angebracht worden.

Vor dem Versuche wurde der Kessel durch Blindflantschen von allen seinen Verbindungen abgetrennt, und man war so sicher, dass nicht Dampf oder Wasser von einem anderen Kessel die Richtigkeit der Messung beeinträchtigte.

2. Dampfdrücke.

Der in allen Rechnungen eingeführte absolute Dampfdruck in *kg* auf 1 *qcm* ist aus dem mittleren atmosphärischen Drucke p_b, der während des Versuches herrschte, und aus dem beobachteten mittleren Dampfüberdrucke berechnet worden.

Derselbe ist

$$p_0 = p_u + p_b = p_u + \frac{b}{760}\,1{,}0333,$$

wenn man mit b den Barometerstand in *mm* bezeichnet. Der mittlere Dampfüberdruck wurde aus der Angabe des Kontrolmanometers entnommen.

In die Tabellen der Versuchsergebnisse sind die Dampfdrücke p_1 und p_2 zu Anfang und zu Ende des Versuches aufgenommen. Die Temperatur t'_0 des stets überhitzt ausströmenden Dampfes wurde am Ende des Ausströmungsrohres durch ein Thermometer, das durch eine Stopfbüchse bis zur Mitte des Rohrquerschnittes reichte, fortwährend beobachtet.

Das Thermometer war bis zur Ablesungsstelle durch Umwickelung mit Asbestschnur gegen äussere Abkühlung und gegen Wind durch einen Schirm geschützt.

Die Differenz zwischen t' und t_0 ergab die scheinbare Ueberhitzung

$$t_u = t'_0 - t_a.$$

Die Messung des Druckes des Ausströmungsdampfes erfolgte durch ein Piezometer, das sehr nahe der Mündung derart mit dem Ausströmungsrohr verbunden war, dass sowohl die Saug- als Stosswirkung des Dampfes soweit als nur möglich beseitigt erschien. Am besten eignet sich U-förmiges Rohr, dessen eines Ende mit einer Art Brause versehen, durch eine Stopfbüchse eingeführt, bis zur Mitte des Rohrquerschnittes reichte. Die Wassersäule, die sich durch Kondensation des Dampfes nicht ändert, obwohl beide Wasserspiegel sich fortwährend heben, giebt den Dampfüberdruck.

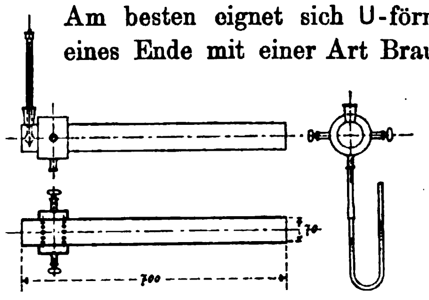


Fig. 2.

Ist h' die Wassersäule in *mm*, so ist der Ueberdruck des Dampfes auf 1 *qcm*

$$p' = \frac{h'\,mm}{1000}\,\frac{1000}{10000} = \frac{h'\,mm}{10000}.$$

Dieser sehr kleine Ueberdruck ist zu dem atmosphärischen Drucke p_b zu addiren, um den absoluten Druck des ausströmenden Dampfes zu erhalten.

Diesem Drucke

$$p'_1 = p_b + p'$$

entspricht eine Dampftemperatur t'_0, die zur Berechnung des Wärmeinhaltes des ausströmenden Dampfes über 0° dient.

3. Dampftemperatur.

Die mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel t_0 ergiebt sich aus den Ablesungen am Kontrolmanometer unter Benutzung der Dampftabellen.

4. Wärmemengen.

Die Gesammtwärme für 1 *kg* Kesseldampf unter der Annahme, dass derselbe trocken gesättigt sei, ist

$$\lambda_0 = 606{,}5 + 0{,}305\,t_0.$$

Enthält 1 *kg* Dampf- und Wassergemisch *x kg* trocknen Dampf und *x kg* Wasser, so wäre seine Gesammtwärme, wenn die Flüssigkeitswärme mit q_0 bezeichnet wird

$$\lambda'_0 = x\lambda_0 + (1 - x)\,q_0.$$

Gewöhnlich wird bei der Berechnung der für die stündlich gebildeten *S kg* Dampf in den Kessel wirklich eingedrungene Wärmemenge λ_0 benützt. Diese Rechnung liefert jedoch zu hohe Werthe und man beurtheilt die Leistung des Kessels daraus zu günstig. Der

Wassergehalt des Dampfes müsste bekannt sein, um die zuverlässig nutzbar gemachte Wärmemenge berechnen zu können.

Die bekannten Methoden der Bestimmung dieses Wassergehaltes haben sich noch nicht als so zuverlässig oder einwandsfrei erwiesen, dass eine derselben sich allgemein eingeführt hätte.

Zur Zeit wenigstens, als die Versuche, deren Ergebnisse hier vorliegen, begonnen wurden, gab es eine brauchbare, praktisch leicht durchführbare Messungsweise der Dampffeuchtigkeit nicht.

Es wurde deshalb das „Dampfausströmungs-Verfahren" bei allen Versuchen in Anwendung gebracht, weil es sich bei ganz oder zum Theil abgetrennten Kesseln von selbst ergiebt, wenn man die Natur des vom Kessel gelieferten Dampfes durch Messung seiner Temperatur und seines Druckes durch direkte Messungen kennen lernen will.

Diese Methode hat der Leiter der hier beschriebenen Versuche schon 1888 bei den Versuchen in Landsberg a/W.*) mit dem Kessel mit Paucksch'schem Patentrohr zur Bestimmung der Erzeugungswärme des Kesseldampfes mit gutem Erfolg angewendet.

Zur Ausführung der Ausströmungsversuche wurde nach Beseitigung der gewöhnlichen Dampfleitung ein Ausströmungsrohr an das Dampfventilgehäuse mit dem oben beschriebenen Piezometer angebracht. Das Rohr wurde dabei stets gut eingehüllt. Während des Verdampfungsversuches erfolgte die Notirung der zusammengehörigen Temperaturen und Piezometerstände. Aus den Mittelwerthen t'_0 und h' dieser Beobachtungsreihen ergab sich die Ueberhitzung $t'_0 - t_a$ und der Ueberdruck p'_u.

Da man den Rohrquerschnitt gemessen hat und die stündlich ausströmende Dampfmenge und deren Temperatur kennt, so kann man nach den Grundsätzen der Thermodynamik die Gesammtwärme des Ausströmungsdampfes mit grosser Genauigkeit berechnen, da man auch die von dem Dampf an das Ausströmungsrohr abgegebene äussere Abkühlungswärmemenge hinreichend genau bestimmen kann.

Mit 1 *kg* Ausströmungsdampf gehen folgende Wärmemengen in die Atmosphäre über:

1. Die Gesammtwärme λ'_0 des Dampfes von der Temperatur t'_0 entsprechend dem Drucke

$$p'_1 = p_b + p'_u.$$

Diese Wärmemenge ist

$$\lambda_a = 606{,}5 + 0{,}305\, t_a$$

(was meistens sehr nahe 637 cal. ergiebt).

*) Siehe Z. d. V. D. I. 1888.

2. Die Ueberhitzungswärme

$$q_u = c_p t_u.$$

3. Die Wärmemenge q_w, die zur Erzeugung der Ausströmungsgeschwindigkeit w verbraucht wird.

Dieselbe ist

$$q_u = \frac{1}{2g}\, w^2\, \frac{1}{424},$$

wobei

$$w = \sqrt{\frac{4}{\pi d^2}} \sqrt{\frac{273 + t'_0}{273 + t_a}} \sqrt{\frac{S}{\gamma'_0\, 3600}}$$

$$= 0{,}0188 \sqrt{\frac{1 + a t'_0}{1 + a t_a}} \sqrt{\frac{S}{\gamma'_0}}$$

und γ'_0 das spezifische Dampfgewicht für die Ausströmungsspannung ist.

4. Die äussere Abkühlungswärme q_a, die sich aus der Berührungsfläche des Dampfes mit der Rohrfläche,

$$o = \frac{\pi}{4}\, d_5{}^2 l_5, \text{ und}$$

aus der Temperaturdifferenz zwischen Ausströmungsdampf und Aussenluft $t'_0 - \tau_1$, unter Einsetzung eines Wärmeüberführungs-Koeffizienten k zu

$$q_a = k\, \frac{\pi d_5{}^2}{4}\, l_5\, (t'_0 - \tau_1)$$

ergiebt. Diese Wärmemenge, wie auch die Geschwindigkeitswärme, ist sehr klein und man wird sie nur berücksichtigen, wenn es sich um die Bestimmung sehr kleiner Wassergehalte handelt.

Die Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes ist daher

$$\lambda'_0 = \lambda_a + q_u + q_w + q_a$$

$$= 605{,}5 + 0{,}305\, t_a + c_p t_u + \frac{1}{2g} \cdot \frac{w^2}{424} + k\, o\, (t'_0 - \tau_1).$$

Für c_p ist hier zunächst 0,48 und für k etwa 5 zu setzen. Es ist auch angenommen worden, dass die Temperatur des Dampfes zwischen dem Drosselventil und der Mündung überall t'_0 sei, was nicht ganz der Fall sein wird.

Es ist klar, dass die Ausströmungswärme λ'_0 niemals grösser werden kann als die Gesammtwärme λ_0 des Kesseldampfes; ergiebt die zuletzt angeführte Formel dagegen einen grösseren Werth und hat man genau gemessen, so liegt der Schluss nahe, dass der gedrosselt ausströmende Dampf nicht vollständig überhitzt ist, sondern dass noch nicht verdampftes Wasser mit ausgeströmt ist. In der That hat sich bei den hier besprochenen Versuchen herausgestellt, dass der Dampf nicht vollständig überhitzt war, trotzdem dass er eine viel höhere Temperatur zeigte, als dem Drucke des-

selben an der Mündung nach den auf Grund der Regnault'schen Versuche berechneten Zeuner'schen Tabellen entspricht.

Diese bemerkenswerthe Thatsache ist in vieler Beziehung von Wichtigkeit. Sie ist auch von Wilhelm Schmidt bei den Versuchen, welche der Schaffung des Heissdampfmotors vorangingen, entdeckt worden, und es musste, um die Ueberhitzung vollständig zu bewirken, zwischen dem „Vorüberhitzer" und Hauptüberhitzer ein „Nachverdampfer" eingeschaltet werden. Im Nachverdampfer, in dem der Dampf mit beträchtlich geringerer Geschwindigkeit strömt (annähernd mit 1 *m*), finden die Wassertheilchen Zeit zu verdampfen und die Ueberhitzungstemperatur anzunehmen.

In den Ausströmungsröhren der Kesselversuche, in welchen der Dampf Geschwindigkeiten von 80 bis 200 *m* erlangte, konnte eine durchgreifende Ueberhitzung sich nicht vollziehen, denn die Zeit, um selbst ein Rohr von 10 *m* Länge zu durchströmen, beträgt im günstigsten Falle $^1/_8$ Sekunde, während sie beim Heissdampfmotor mehr als 2 Sekunden beträgt. An der Drosselungsstelle des Ausströmungsrohres ist zwar eine ausserordentlich starke Wirbelung dem Wärmeaustausch zwischen Wasser und Dampf günstig, aber die Zeit ist doch zu kurz, um die in den schlechten Leitern eingehüllten Wassertheilchen ganz zu verdampfen und noch zu überhitzen.

An der Stelle hinter dem nur sehr wenig geöffneten Ventil, wo die mit der hohen Flüssigkeitswärme aus dem Kessel kommenden Wassertheilchen in ausserordentlich kurzer Zeit unter einem Druck gelangen, der nur wenig über dem atmosphärischen liegt, findet eine explosionsartige Verdampfung statt; zur weiteren Verdampfung liegen aber ungünstige Zustände vor.

In Anbetracht dieser Thatsachen und um die nutzbar gemachte Wassermenge nicht zu hoch zu schätzen, wurde in vorliegenden Berechnungen der Gesammtwärme aus der Ausströmungswärme nur eine theilweise Ueberhitzung vorausgesetzt. Dies durfte mit um so grösserem Rechte geschehen, als bei den meisten Versuchen die Ausströmungswärme λ'_0 sich sonst noch grösser ergab, als die Gesammtwärme für trocken gesättigten Kesseldampf. Dieser Sachverhalt lässt es sicher erscheinen, dass der Bestimmung von λ'_0 nur unbeachtliche Fehler anhaften. Da halbe Ueberhitzung vorausgesetzt wurde, so kann im ungünstigsten Falle die Gesammtwärme λ'_0 nur um einen Theil der halben Ueberhitzungswärme, also z. B. für Versuch XX nur um einen Theil von

$$\frac{25{,}89}{2} \cdot 0{,}48 = 12{,}99 \cdot 0{,}48 = 6{,}24 \text{ cal.}$$

unrichtig bestimmt sein. Bei einer Gesammtwärme von 652,57 cal. würde demnach der Fehler kleiner als

$$\frac{6 \cdot 24}{6 \cdot 52 \cdot 57} \sim 0{,}0095 \text{ oder } 0{,}9\,\%$$

sein.

Eine genauere Bestimmung der nutzbar gemachten Wärmemenge bei Kesseln dürfte kaum ausgeführt sein.

Auf keinen Fall kann aber ein Zweifel darüber bestehen, dass der Dampf sehr trocken sein muss, wenn auch nur die „scheinbare" Ueberhitzung an jene heranreicht, welche man für ganz trocknen Dampf sofort ganz leicht berechnen kann und jene Meinung, man habe „vielleicht mehr Wasser als Dampf aus dem Kessel heraus gejagt", muss als ganz hinfällig erscheinen.*)

Die Ueberhitzung, die gedrosselt ausströmender trocken gesättigter Dampf annehmen muss, wenn keine Wärmeverluste dabei stattfinden, und der normale Druck in der Atmosphäre herrscht, ergiebt sich aus der Beziehung

$$\lambda_0 = 637 + c_p t_u$$

woraus

$$t_u = \frac{\lambda_0 - 637}{c_p}$$

folgt.

Für

$$p_0 = 6\ kg$$

ist

$$t_0 = 157{,}944,$$

$$\lambda_0 = 654{,}673,$$

und

$$t_u = 36{,}8^0.$$

In Folge, dass ohne Nachverdampfung bei der Ausströmung noch Wasser vorhanden sein wird, ergiebt sich eine scheinbare Ueberhitzung, welche zurückgeht, sobald man Nachverdampfung bewirkt.

Für $x\ kg$ trockenen Dampf bei $1 x\ kg$ Wasser wird in 1 *kg* Gemisch aus der Beziehung

$$x\lambda_0 + (1 - x)\,q_0 = 637 + c_p t_u$$

für vollständige Ueberhitzung und ohne Wärmeverlust bei atmosphärisehem Druck

$$t_u = \frac{\lambda_0 - q_0}{637 - q_0}$$

gefunden.

Bei der Berechnung der Dampffeuchtigkeit aus einem wirklichen Ausströmungsversuch müssen die oben

*) Es ist hier zu bemerken, dass die vorliegenden Ergebnisse sich zumeist auf Kessel mit grossen Wasserspiegeln beziehen.

erwähnten Wärmemengen, die dem ausströmenden Dampf zugeführt wurden, sammt der Abkühlungswärme, gleichgesetzt werden, der Gesammtwärme für 1 *kg* Dampf- und Wassergemisch von dem Wassergehalte $(1-x)$, ohne Rücksicht auf die Speisearbeitswärme, die durch die Speisepumpe aus einer fremden Wärmequelle dem Dampfe zugeführt wurde.

Die Arbeitswärme für 1 *kg* Speisewasser, um es mit der Geschwindigkeit W_0 gegen den Ueberdruck des Dampfes in den Kessel hineinzupressen, ist

$$q_s = \frac{1}{2g}\frac{W^2_0}{424} + \frac{0{,}001 p_u}{424} = \frac{1}{424}\cdot\left(\frac{W^2_0}{2g} + 0{,}001\ p_u\right).$$

Zur Bestimmung der Dampffeuchtigkeit hätte man die Gleichung

$$x\lambda_0 + (1-x)\,q_0 = \lambda_a + q_u + q_w + q_a$$

woraus der spezifische Wassergehalt

$$1 - x = \frac{\lambda_0 - \lambda_a + q_u + q_w + q_a}{\lambda_0 - q_0}$$

folgt.

Wie schon hervorgehoben wurde, dürfte diese Gleichung nur dann zur Berechnung des Wassergehaltes des Dampfes benutzt werden, wenn man sich überzeugt hat, dass der ausströmende Dampf nicht mehr feucht ist. Der Augenschein täuscht dabei vollständig. Man kann unter Umständen weit in das Ausströmungsrohr hineinsehen, trotzdem der Dampf aus demselben mit grellem Geräusch ausströmt, und die Beschaffenheit der inneren Rohrwandungen deutlich erkennen und doch ist der Dampf noch feucht. Ebenso täuscht das Gefühl, indem man fast ebenso wie in ganz überhitztem Dampf mit der Hand den Dampfstrahl zertheilen kann, ohne sich zu verbrennen. Jeder Irrthum ist nur dann ausgeschlossen, wenn man einen Nachverdampfer mit grossem Querschnitt (das 20—30 fache des Rohrquerschnittes) und von solcher Länge (1—2 *m*) verwendet und durch wenigstens drei Thermometer sich überzeugt, dass eine Senkung der Temperatur des Dampfes gegen das Ende des Verdampfers nicht mehr stattfindet.

Die hier besprochene Methode der Ausströmung unter Drosselung kann somit, wie gezeigt wurde, wohl zur Bestimmung der Dampffeuchtigkeit ausgebildet werden. Bei den vorliegenden Versuchen ist sie jedoch in erster Linie zur Messung der von dem Dampf aus dem Brennstoffe entnommenen Wärmemenge verwendet worden.

Zieht man nämlich von der Gesammtwärme λ'_0 die Flüssigkeitswärme des Speisewassers und die Speisearbeitswärme ab, so ergiebt sich unmittelbar die „Erzeugungswärme“

$$\lambda_e = \lambda'_0 - q_\tau - q_s$$

$$= \lambda_a + c_p t_u + \frac{1}{2g}\frac{W^2}{424} + k\,o\,(t'_0 - \tau_1)$$

$$- \int_0^{\tau_0} c\,d\tau - \frac{1}{424}\left(\frac{W_0^2}{2g} + 0{,}001\,p_u\right),$$

wovon jedoch das letzte Glied, die Speisearbeitswärme, weggelassen werden kann.

Ist $p_u = 50000$ und $W^2_0 = 4$, so wird

$$q_s = \frac{1}{424}\left(\frac{4}{19{,}6} + 0{,}001\cdot 50000\right) = 0{,}119 \text{ cal.}$$

Für das wiederholt angezogene Beispiel ist

$$\lambda'_0 = 644{,}85 \text{ cal.}$$

für halbe Ueberhitzung.

Der Wassergehalt des Dampfes wäre dann

$$1 - x = 0{,}0154 \text{ oder } 1{,}54\,\%.$$

Mit der Erzeugungswärme aus der stündlich verdampften Wassermenge erhält man die nutzbare Wärmemenge

$$B\cdot Q_e = \lambda_e \cdot S.$$

Dieselbe beträgt für den Versuch XX

358 665,57 cal.

Da man aus der stündlich verbrauchten Brennstoffmenge und dem calorimetrischen Heizwerthe die Brennstoffwärme BH_c findet, so ergiebt sich direkt das Ausnützungsverhältniss der Kesselanlage oder der „Wirkungsgrad“ als der Werth

$$\eta = \frac{\lambda_e\cdot S}{B\cdot H_c} = \frac{358\,665{,}57}{634\,484{,}0} = 0{,}5561.$$

5. Dampfmengen.

Die stündliche Dampfmenge S dividiert durch die Heizfläche des Kessels giebt die mittlere „quantitative“ Verdampfung $\frac{S}{F}$, während durch Division mit der stündlichen Brennstoffmenge die „qualitative“ Verdampfung $\frac{S}{B}$ erhalten wird.

Da jedoch die aus dem Brennstoff für 1 *kg* „Dampf“ entnommene Wärmemenge λ_e nicht immer dieselbe ist, so besitzt man in $\frac{S}{F}$ und $\frac{S}{B}$ noch keine Werthe, die einen gerechten Vergleich zwischen den Ergebnissen verschiedener Versuche oder verschiedener Kessel ermöglichen.

Man hat deshalb die Verdampfung nach F und nach B. auf „Normaldampf“ bezogen. Als Normaldampf-Gesammtwärme ist hier die Gesammtwärme für

Dampf von 100° Cels. aus Wasser von 0°, 637 cal. als Vergleichswerth eingeführt. Zuweilen werden 600 cal. als Normaldampf-Gesammtwärme angenommen. Für Dampf von durchschnittlichem Feuchtigkeitsgehalt wird für die mittleren Spannungen bei hoher Vorwärmung diese Zahl ziemlich gut mit der Erzeugungswärme übereinstimmen. Es ist übrigens ganz unwesentlich, auf welche Wärmemenge man die Verdampfungsziffer reduzirt, nur sollte darüber ein für alle Mal eine Vereinbarung getroffen und durchgeführt werden.

Es liegt z. B. in der Angabe: „1 *kg* Kohle hat 10 *kg* Dampf erzeugt," eine sehr grosse Unbestimmtheit, und zwar nicht nur, was eigentlich selbstverständlich ist, in Bezug auf den Heizwerth, sondern schon mit Rücksicht auf den Druck, die Art des Dampfes und die Vorwärmungsgrade.

Nimmt man z. B. an, der Dampf von 0 *kg* Ueberdruck besitze, wie es vorkommen kann, 10 % „Feuchtigkeit" und werde aus Wasser von 70° Cels. gebildet, so würde die Erzeugungswärme

$$\lambda_e = 0{,}9 \cdot 637 + 0{,}1 \quad 99{,}576 - 70 = 513{,}26 \text{ cal.}$$

sein, während bei 8 *kg* Ueberdruck, 0 % Wassergehalt und bei 0° Speisetemperatur sich für

$$\lambda = 659{,}63 \text{ cal.}$$

ergeben.

Der Unterschied beträgt 146,37 cal.

Nun muss ja zugegeben werden, dass die gewöhnlich vorkommenden Unterschiede weit geringer sind.

Bei Verdampfungsversuchen mit offenem Mannloch, wie solche oft ausgeführt worden sind, würde dagegen thatsächlich dieselbe Verdampfungsziffer eine über 20 % geringere Ausnützung ergeben, als bei dem hochgespannten trockenen Dampf und bei kaltem Speisewasser. Die Verdampfungsziffer auf Normaldampf bezogen ist nach der Heizfläche $\frac{S_n}{F}$ und nach der Brennstoffmenge $\frac{S_n}{B}$. Die wahre Anstrengung der Heizfläche ist aber $\frac{BH_c}{F}$. In diesem Werthe ist auch $\frac{\lambda_e S}{F}$ enthalten, denn es ist

$$\frac{\lambda_e S}{F} = \eta \cdot \frac{BH_c}{F}.$$

Die Dampfmenge für B *kg* Brennstoff vom Heizwerth H_c und bei einem Wirkungsgrad η ist

$$S = \eta \cdot \frac{BH_c}{\lambda_e},$$

woraus

$$\frac{S}{B} = \eta \cdot \frac{H_c}{\lambda_e}$$

folgt.

In den Tabellen der Einzelversuche ist ferner die Dampfmenge auf die Wasserspiegeloberfläche $\frac{S}{O}$ und auf die Rostfläche bezogen angegeben. Aus ersterer Zahl kann man erkennen, ob eine ruhige Verdampfung vorliegt und aus $\frac{S_n}{F}$, wie gross die wahre Anstrengung $\frac{BH_c}{F}$ der Heizfläche ist.

Aus dem Werthe $\frac{S}{O}$ lässt sich die mittlere Geschwindigkeit w_0, mit welcher der Dampf aufsteigen würde, berechnen, wenn er sich gleichmässig über die Oberfläche vertheilte.

Endlich ist noch die Wärmetransmission $\eta \frac{BH_c}{F}$ oder die Zahl der Wärmeeinheiten angegeben, die 1 *qm* der Heizfläche stündlich aus den Heizgasen entnommen hat.

Es ist noch der Richtigstellung zu gedenken, die dann bezüglich der mit B *kg* Brennstoff erzielten Dampfmenge stattzufinden hat, wenn der Dampfdruck am Ende des Versuches wesentlich von dem anfänglichen abweicht.

Beim Versuch VI war die Dampfüberdruck-Differenz

$$p_2 - p_1 = 0{,}2 \; kg/qcm.$$

Der Dampfüberdruck zu Ende des Versuches war 6,4 *kg*, während er zu Ende 6,2 *kg* betrug. Bei dem während des Versuches herrschenden atmosphärischen Drucke von 1,019 *kg* ergaben sich die absoluten Drucke

$$p_2 = 7{,}5019 \; kg/qcm$$

und

$$p_2 = 7{,}3019 \; kg/qcm.$$

Die entsprechenden Gesammtwärmen sind nach Zeuner's II. Haupttabelle:

$$\lambda_2 = 657{,}379, \quad \lambda_1 = 657{,}044.$$

Die Differenz der Gesammtwärme für 1 *kg* Dampf ist demnach

$$\lambda_2 - \lambda_1 = 0{,}335 \text{ cal.},$$

folglich waren zu Ende des Versuches im Dampfraum des Kessels von 2,617 *cbm* bei einem spezifischen Gewicht des Dampfes von 3,9 *kg*,

$$0{,}335 \cdot 2{,}627 \cdot 3{,}9 = 36{,}40 \; kg \text{ mehr,}$$

als zu Anfang des Versuches angesammelt.

36,4 Cal. ergaben aber 36,4 : 637 = 0,057 *kg* Normaldampf, während der Kessel im Ganzen 5315,8 *kg* Speisewasser verbraucht und 5290,4 *kg* Normaldampf

geliefert hat. Diese Dampfmenge ergiebt eine durch den Verdampfungsversuch nutzbar gemachte Wärmemenge von $5290,4 \cdot 637 = 3\,369\,985$ cal. Der Fehler bei Vernachlässigung von 36,4 cal. ist daher verschwindend klein. Eine Korrektur für Dampfdruck-Differenzen ist also ganz unnöthig.

Wesentlich grössere Unterschiede stellen sich bei verschiedenen Dampfdrücken bezüglich der Flüssigkeitswärme des Kesselwassers heraus. Für den Versuch VI ist die Endtemperatur $t_2 = 166{,}815^0$ und die anfängliche $t_1 = 165{,}718^0$. Das Kesselwasser war daher um $1{,}1^0$ wärmer und enthielt (Differenz der Flüssigkeitswärme) um 1,13 cal. mehr Wärme als zu Anfang des Versuchs. Da der Inhalt des Wasserraumes $V_2 = 10{,}43$ *cbm* ist, so ergiebt sich eine Wärmemenge von $1{,}13 \cdot 10{,}430 = 11816$ cal. Mit dieser Wärmemenge wären $11816 : 637 = 18{,}5$ *kg* Normaldampf erzeugt worden. Der Fehler bei Vernachlässigung der Unterschiede der Kesselwasserwärme beträgt daher bei Versuch VI

$$100 \cdot \frac{18{,}5}{5290{,}4} = 0{,}35\,\%.$$

Es kann somit auch dieser Fehler als praktisch unbeachtlich angesehen werden.

6. Wassergehalt des Dampfes.

Der Ausströmungsversuch ergiebt, wie oben bei Besprechung der Erzeugungswärme gezeigt wurde, alle Mittel an die Hand, den Werth $1 - x$ zu berechnen. Im vorliegenden Falle, wo die Ueberhitzung stets eine unvollständige war, kann eine physikalisch genaue Berechnung des Wassergehaltes auf Grund der Versuchsergebnisse nicht stattfinden. Es ist angenommen worden, dass der Dampf zur Hälfte überhitzt war. Mit

$$q_u = \frac{1}{2}\,0{,}48\,t_u = 0{,}24\,t_u,$$

wurde aus der Formel

$$1 - x = \frac{\lambda_0 - \lambda_a + (q_u + q_w + q_a)}{\lambda_0 - q_0}$$

der wahrscheinliche Wassergehalt für jeden Versuch berechnet.

Es werde nochmals darauf hingewiesen, dass ein bedeutender Fehler dieser Rechnung nicht anhaften kann, da man es offenbar mit einer Ueberhitzung zu thun hat, die sich auf einen grossen Theil der Dampfmenge erstreckt. Einen geringeren Wassergehalt, als sich unter Annahme vollständiger Ueberhitzung ergiebt, kann der Kesseldampf nicht haben.

H. Die Wärmeverluste.

Rostverlust. Zunächst wird eine gewisse Menge Asche μ_1, Schlacke μ_2 und Flugasche μ_f nach jedem Versuch in getrenntem Zustande der Untersuchung unterworfen (siehe Brennstoffanalyse) und es wird das Verbrennliche von 1 *kg* Asche bestimmt. Von der Flugasche wird angenommen, dass sie Verbrennliches nicht enthält, obwohl ganz kleine Mengen Verbrennliches in den Feuerzügen nachbrennen. Von 1 *kg* Asche wird μ_0 Verbrennliches gefunden, so dass $\mu_0 \mu$ Verbrennliches für 1 *kg* Brennstoff vorhanden ist. Der calorimetrische Heizwerth der Herdrückstände (mit Ausschluss der Flugasche) ist h_t, folglich ist der Wärmeverlust durch den Rost

$$Q_r = \mu h_t.$$

Verlust durch Kohlenoxydbildung Q_k. Die Rauchgasanalyse ergiebt die Volum-Prozente des etwa gefundenen Kohlenoxydgases. Da nun die Gasmenge für 1 *kg* Brennstoff bekannt ist, so kann die Kohlenoxydmenge dafür berechnet werden. Durch die unvollkommene Verbrennung erleidet die Feuerung einen Verlust, der sich aus der Differenz zwischen der Verbrennungswärme von Kohlenstoff zu Kohlensäure und von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd ergiebt. Es wurde die Verbrennungswärme, welche die Gewichtseinheit von Kohlenoxyd zu Kohlensäure ergiebt, mit 2403 Cal. in die Berechnung eingeführt.

Verlust durch Bildung von Sumpfgas oder Methan Q_m. Dieser Werth wurde in derselben Weise wie der vorige Verlust unter Einsetzung der Verbrennungswärme des Methans von 11 996 Cal. berechnet.

Verlust durch Russbildung. Da 1 *kg* Kohlenstoff 8080 Cal. ergiebt, so ist der Russverlust

$$Q_c = G_r \cdot 8080 \text{ Cal.}$$

Die äussere Abkühlung des Feuerherdes Q'_a ist als ein Theil des ganzen Abkühlungsverlustes Q_a abgeschätzt werden. Es wurde angenommen:

$$Q'_a = 0{,}2\,Q_a \text{ für Innenfeuerung,}$$
$$Q'_a = 0{,}4\,Q_a \text{ „ Unterfeuerung,}$$
$$Q'_a = 0{,}6\,Q_a \text{ „ Generatorfeuerung,}$$

demnach bleibt für die Abkühlung des Kessels in der angeführten Reihenfolge

$$0{,}8\,Q_a, \quad 0{,}6\,Q_a \quad \text{und} \quad 0{,}4\,Q_a.$$

Die innere Abkühlung durch die Beiluft ist

$$Q_b = c'_p m_0 L'_0 (t_1 - \tau_1)$$

wobei

$$c'_p = 0{,}24, \quad m_0 = \frac{L_1}{L'_0}$$

das Verhältniss der Beiluft zur chemischen Luftmenge, t_1 die Endtemperatur der Gase und τ_1 die Temperatur der Aussenluft bedeuten!

Der Verlust Q_g durch die abziehenden Gase hat sich ergeben aus der Gasmenge G'_0

$$(1 + m' L'_0 - \mu - \mu_f)$$

ohne Beiluft und aus der Temperatur t_1 nach Abzug der durch Verbrennungsluft zugeführten Wärmemenge $c'_p L \tau_1$, so dass

$$Q_g = c_p (1 + m'L'_0 - \mu - \mu_f) t_1 - c'_p L \tau_1.$$

Der Verlust durch die abziehenden Gase und der Verlust durch die Beiluft giebt das, was man gewöhnlich als den „Fuchsverlust" bezeichnet.

Derselbe ist

$$Q_f = c_p (1 + mL'_0 - \mu - \mu_f) t_1 - c'_p L'_1 \tau_1.$$

Aus diesen Verlusten ist der Gesammtverlust wie folgt zusammengesetzt:

$$Q_0 = Q_r + Q_k + Q_m + Q_c + Q'_a + Q''_a + Q_b + Q_g.$$

I. Die disponible Wärmemenge.

Es ist bisher üblich gewesen, den theoretischen Heizwerth H_t des Brennstoffes, wie er sich z. B. nach der „Deutschen Formel" ergiebt oder auch den kalorimetrischen Heizwerth H_c als die für die Dampferzeugung beim Kesselbetrieb disponible oder verwendbare Wärmemenge anzusehen. Indem man die von 1 *kg* Brennstoff thatsächlich zur Dampferzeugung verwendete Wärmemenge durch H_t oder H_c dividirte, erhielt man das „Ausnützungsverhältniss", das „Güteverhältniss" der Kesselanlage oder den „Wirkungsgrad". Dieser Wirkungsgrad wird auch zuweilen der „ökonomische" genannt, weil er angiebt, wieviel von der „bezahlten" Wärmeeinheit nutzbar gemacht wird. Bei näherer Ueberlegung erkennt man jedoch, dass nicht die ganze „bezahlte" Wärmemenge im Brennstoff für einen Kessel disponibel ist, sonst müsste es ja möglich sein, durch Vervollkommnung der Kessel und des Betriebes das „Ausnützungsverhältniss", also das Verhältniss der in das Kesselwasser übergeführten Wärmemenge zu der im Brennstoff gegebenen Verbrennungswärme immer mehr der 1 zu nähern oder man könnte meinen, dass doch bei einem Kessel, der 85% Ausnützung zeigt, dieselbe auf 90% oder 95% gebracht werden könnte.

Dass diese Auffassung des Wirkungsgrades aber eine irrige ist, erkennt man sofort, wenn man bedenkt, dass selbst bei einem Dampfkessel mit vollkommener Feuerung und ohne äussere und innere Abkühlung und bei innerlich grösster Heizfläche die Temperatur der Verbrennungsgase sich nicht unter die Temperatur t_0 des vom Kessel verlangten Dampfes bringen lässt. Da nun die Menge der Verbrennungsgase und deren Temperatur bei dem sonst vollkommenen Kessel den einzigen Verlust bedingen, so kommt es nur noch darauf an, diesen Verlust auf das kleinste Maass zu bringen, damit der Kessel als vollkommen bezeichnet werden kann.

Die geringste Gasmenge, die von 1 *kg* Brennstoff aber entstehen kann, ist

$$G_{\min} = 1 + L'_0 - A$$

und weil diese mit keiner niedrigeren Temperatur den Kessel verlassen kann als mit der Temperatur t_0 des Dampfes, den der Kessel liefern soll, so ergiebt sich mit der spezifischen Wärme der Verbrennungsprodukte c_p die Wärmemenge, die auch bei einem Kessel, an dem nichts mehr zu verbessern ist, nach dem Schornsteine abgeführt werden muss. Die Verbrennungsprodukte können also niemals weniger Wärme mit sich hinwegführen als

$$B \cdot Q_{g\min} = c_p B (1 + L'_0 - A)\, t_0$$

und der wahre Fuchsverlust kann kein kleinerer sein, als wenn die Gasmenge $G_{\min}$ mit der Endtemperatur $t_1 = t_0$ abzieht.

Die für den Dampfkesselbetrieb mit 1 *kg* Brennstoff zur Verfügung stehende Wärmemenge ist daher

$$Q_d = H_c - Q_{g\min} = H_c - c_p (1 + L'_0 - A) t_0.$$

Bei dieser Definition der disponiblen Wärmemenge ist nicht ausgeschlossen, dass absolute Asche *(A)* unter dem Rost gefunden wird; die Verbrennung ist doch dann eine vollkommene, wenn nur absolute Asche ohne Verbrennliches unter den Rost gelangt.

Der Maximal-Wirkungsgrad der Kesselanlage ist daher (bezogen auf die disponible Wärmemenge)

$$\eta_{\max} = \frac{H_c - c_p (1 + L'_0 - A)\, t_0}{H_c}$$

oder

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{c_p (1 + L'_0 - A)\, t_0}{H_c}$$

bei $c_p = 0{,}246$, $1 + L'_0 = 12{,}318$, $A = 0$, $H = 8080$ und $t_0 = 150$, also bei vollkommener Verbrennung von reinem Kohlenstoff mit Luft und bei einer Dampftemperatur von 150° wird

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{454{,}5}{8080} = 0{,}9478$$

d. h. es sind überhaupt nur von jeder bezahlten Calorie 0,9478 Calorie disponibel und der Kessel hätte das idale Maximum des Wirkungsgrades erreicht.

Für den Versuch XX wird $\eta_{max} = 0{,}9368$.

Um nun den wahren Wirkungsgrad der Kesselanlage zu berechnen, muss man die Verluste von der Wärmemenge H_c abziehen und diese Differenz durch die disponible Wärmemenge $H_c - c_p\, G_{min}\, t_0$ dividiren, so dass der Wirkungsgrad wird

$$\eta_d = \frac{H_c - Q_r - Q_k - Q_m - Q_c - Q'_a - Q''_a - Q_b - Q_g}{H_c - c_p\, G_{min}\, t_0}$$

Man kann auch schreiben

$$\eta_d = \frac{\lambda_c S}{B\,(H_c - c_p\, G_{min}\, t_0)} = \frac{637\, S_n}{B\,(H_c - c_p\, G_{min}\, t_0)}.$$

Diese Berechnung kommt darauf hinaus, dass man die nach dem gebräuchlichen bestimmten Wirkungsgrade der Ausnützungsverhältnisse

$$\eta \text{ durch } \eta_{max}$$

dividirt und schreibt

$$\eta_d = \frac{\eta}{\eta_{max}} = \frac{\eta}{1 - \frac{c_p\, G_{min}\, t_0}{H_c}}.$$

Nach den Anschauungen der Maschinen-Theorie müsste, streng genommen, noch die Wärmemengen berücksichtigt werden, welche die zugeführte Luft mitbringt; es müsste der wahre Wirkungsgrad geschrieben werden:

$$\eta_{max} = 1 - \frac{c_p\,(1 + L'_0 - A)\, t_0}{H_c + c_p' \tau_2\, L'_0},$$

wenn $c_p' \tau_2$ die Wärmemenge für die Erwärmung von 1 *kg* Luft auf $\tau_2{}^0$ ist.

Sind die Werthe von η_d für verschiedene Kessel bestimmt, so können sie miteinander verglichen werden, und man vermag dann zu erkennen, wie weit der eine oder der andere noch in seiner Wirkung verbessert werden kann.

Für den Kessel des Versuchs XX war $\eta = 0{,}5561$ und man muss darnach glauben, dass man auch um $100\,(1 - 0{,}5561) = 44{,}39\,\%$ bis zur vollständigen Ausnützung des Brennstoffes gewinnen oder sich doch dem Wirkungsgrade 1 durch fortgesetzte Verbesserungen nähern könnte, während doch für diesen Fall η_{max} nur 0,9368 ist und demnach bei idealer Vollkommenheit der Anlage nur noch

$$1 - \eta_d = 1 - \frac{\eta}{\eta_{max}} = 1 - 0{,}5936 = 0{,}4064$$

oder $40{,}64\,\%$ zu gewinnen wären.*)

*) Bei Berechnung der Brennstoffersparniss in Prozenten der beim Ausnützungsverhältniss η für eine gegebene Dampfmenge erforderlichen Brennstoffmenge B, die bei einer Steigerung des Ausnützungsverhältnisses von η auf $\eta^1 = \eta + \Delta$ eintritt, hat man zu beachten, dass die in diesem Falle sich ergebende Brennstoffmenge

aus $\eta_1 B_1 = \eta B$ zu

$$B_1 = \frac{\eta}{\eta_1} B = \frac{\eta}{\eta + \Delta} B = \frac{1}{1 + \Delta} B$$ sich ergiebt. Die Brennstoffersparniss ist daher in Prozenten:

$$100\left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\Delta}{\eta}}\right) = 100\,\frac{\frac{\Delta}{\eta}}{1 + \frac{\Delta}{\eta}}.$$

Steigt z. B. η von 0,60 auf $0{,}6 + 0{,}15$, also um $15\,\%$, so wird die Brennstoffersparniss:

$$100 \cdot \frac{\frac{0{,}15}{0{,}60}}{1 + \frac{0{,}15}{0{,}60}} = 20\,\%.$$

In den Listen für die einzelnen Versuche sind die Werthe von η, η_{max} und η_d eingetragen.

Die von 1 *kg* Brennstoff verfügbare Wärmemenge ist somit

$$Q_d = \eta_{max} \cdot H_c = \left(1 - \frac{c_p\, G_{min}\, t_0}{H_c}\right) H_c$$
$$= H_c - c_p\,(1 + mL_0 - A)\, t_0.$$

K. Die Wärmebilanz.

Nachdem sämmtliche Verluste Q_0, die nutzbar gemachte Wärmemenge Q_e und die disponible $\eta_{max} \cdot H_c$ gefunden sind, kann man die Wärmebilanz aufstellen, aus welcher die Vertheilung der disponiblen Wärmemenge und auch der bezahlten Wärmemenge hervorgeht.

Es ist

$$Q_d = Q_0 + Q_e - Q_{g\,min} = Q_0 + Q_1 + Q_2 - Q_{g\,min},$$

worin Q_1 die von der direkten oder Bestrahlungs-Heizfläche aufgenommene Wärmemenge und Q_2 diejenige ist, die durch Kontakt der Gase mit der indirekten Heizfläche (Berührungsheizfläche) aufgenommen werden.

Es ist nun

$$H_c = Q_r + Q_k + Q_m + Q_c + Q'_a + Q''_a + Q_b + Q_g$$

und

$$Q_d = Q_r + Q_k + Q_m + Q_c + Q'_a + Q''_a + Q_b + Q_g - Q_{g\,min}.$$

L. Die Wirkungsgrade.

Mit der Wärmebilanz sind sofort auch alle Wirkungsgrade gegeben.

Wirkungsgrad des Rostes. Da von H_c durch μh_t cal. durch das in der Asche sich vorfindende Verbrennliche für die Feuerwirkung verloren geht, so ist der Wirkungsgrad des Rostes

$$\eta_0 = \frac{H_c - Q_r}{H_c} = 1 - \frac{\mu h_t}{H_c}.$$

Wirkungsgrad der Verbrennung. Das auf dem Roste verbleibende Verbrennliche erzeugt eine Wärmemenge von

$$H_c - \mu h_t - Q_k - Q_m - Q_c,$$

während es bei vollkommenem Verbrennungsvorgang $H_c - \mu h_t$ erzeugen sollte. Der Wirkungsgrad der Verbrennung ist daher

$$\eta'_0 = 1 - \frac{Q_k + Q_m + Q_c}{H_c - \mu h_t} = 1 - \frac{Q_k + Q_m + Q_c}{\eta_0 H_c}.$$

Wirkungsgrad der Einhüllung der Feuerung. Der Feuerheerd erleidet eine äussere Abkühlung Q_a und man kann daher für den Wirkungsgrad der Einhüllung schreiben:

$$\eta'_a = \frac{\eta_0 \eta'_0 H_c - Q'_a}{\eta_0 \eta'_0 H_c} = 1 - \frac{Q'_a}{\eta_0 \eta'_0 H_c}.$$

Wirkungsgrad der Feuerung. Der Wirkungsgrad der Feuerung wird sein

$$\eta_1 = \frac{H_c - Q_r - (Q_k + Q_m + Q_c) - Q'_a}{H_c}$$

$$= 1 - \frac{Q_r}{H_c} - \frac{Q_r + Q_m + Q_c}{H_c} - \frac{Q'_a}{H_c}$$

$$\eta_1 = \eta_0 \eta'_0 \eta'_a.$$

Der Wirkungsgrad η'_2 der Strahlungsheizfläche F_1. Von der in der Feuerung erzeugten Wärmemenge wird durch Einstrahlung der Betrag

$$\eta_1 H_t \cdot \eta'_2$$

an das Kesselwasser abgegeben. Hier ist η'_2 der Einstrahlungskoeffizient; derselbe ist, wie schon erwähnt, zu 0,3, 0,25 oder 0,2 anzunehmen, je nachdem der Feuerheerd vollständig oder weniger vollständig von nützlicher Heizfläche umgeben ist.

Der Wirkungsgrad der Berührungsheizfläche η''_2. Der indirekten oder Berührungsheizfläche F_2 wird die Wärmemenge $\eta_1 H_c (1 - \eta'_1)$ übergeben und es wird der Verlust durch den äussern Abkühlungsverlust Q''_a, durch die Beiluft Q_b und durch die abziehenden Gase Q_g davon in Abzug zu bringen sein, um die Wärmemenge Q_2 zu erhalten, die von der Heizfläche F_2 aufgenommen wurde.

Es ist

$$Q_2 = \eta_1 H_c (1 - \eta'_2) - Q''_a - Q_b - Q_g$$

und der Wirkungsgrad der Heizfläche F_2 wird

$$\eta''_2 = \frac{\eta_1 H_c (1 - \eta'_2) - (Q''_a + Q_b + Q_g)}{\eta_1 H_c (1 - \eta'_2)}$$

$$= 1 - \frac{Q_a + Q_b + Q_g}{\eta_1 H_c (1 - \eta'_2)}.$$

Das Maximum des Wirkungsgrades η''_2 erhält man, wenn

$$Q''_a,\ Q_b = 0 \text{ und } Q_g = Q_{g\,\min}$$

(wie bei der disponiblen Wärmemenge) gesetzt werden, wobei also die Endtemperatur gleich der Kesseldampftemperatur ($t_1 = t_0$) und die Luftmenge gleich der chemischen wird ($mL'_0 = L'_0$); es ist also für Kessel mit Strahlungsheizfläche

$$\eta_{2\,\max} = 1 - \frac{Q_{g\,\min}}{\eta_1 H_c (1 - \eta'_2)}$$

und für Kessel ohne Strahlungsheizfläche

$$\eta''_{2\,\max} = 1 - \frac{Q_{g\,\min}}{\eta_1 H_c}.$$

η''_2 ist also nicht, wie gewöhnlich angenommen wird,

$$\frac{t_2 - t_1}{t_2} = 1 - \frac{t_1}{t_2},$$

wenn t_2 die Anfangstemperatur der Gase nach erfolgter Abführung der Strahlungswärme und t_1 deren Endtemperatur bedeuten. Bei dieser Aufstellung von η''_2 ist der **Verlust durch Beiluft** und der **äussere Abkühlungsverlust** vernachlässigt, was durchaus unstatthaft ist, weil diese Beträge **sehr bedeutend** sein können, und es ist dabei angenommen, dass sich die **Gasmenge sammt der Beiluftmenge** von t_2 auf t_1 abgekühlt hat. Die Beiluft tritt erst allmählich hinzu und sie sowohl als die Verbrennungsluft führen Wärmemengen durch ihre Temperatur τ_1 dem Kessel zu, die bei der Berechnung des Wirkungsgrades η''_2 bisher keine Beachtung gefunden haben. Ebenso hat keine Beachtung gefunden: die Wärmemenge, die durch Beilufterwärmung von τ_1 auf t_1 dem Kessel entzogen wird.

Genau genommen müssen die Wärmemengen

$$c_p'(mL'_0 + m_0 L'_0)\tau_1 = c'_p(m + m_0)L'_0 \tau_1,$$

die nicht unbeträchtlich sein können, und die man umsonst hat, zu der bezahlten Wärmemenge des Brennstoffes hinzugefügt werden, um die wahre, dem Kessel zugeführte Wärmemenge ausser der Speisewasserwärme und der Speisearbeitswärme zu erhalten.

Das $c_p(m + m_0)L'_0 \tau_1$ ergiebt bei

$$c_p = 0{,}24,\ m = 2,\ m_0 = 0{,}20,\ L'_0 = 8{,}0$$

und $\tau_1 = 25^0$

132,0 Calorien,

was annähernd 2 % der mittleren Brennstoffwärme ausmacht.

Der Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels ist

$$\eta''_a = \frac{\eta_1 (1 - \eta_2') H_c - Q''_a}{\eta_1 (1 - \eta_2') H_c} = 1 - \frac{Q''_a}{\eta_1 (1 - \eta_2') H_c}.$$

Wäre die Einhüllung vollständig, so dass $Q''_a = 0$ wäre, so dürfte $\eta''_a = 1$ gesetzt werden.

Der Wirkungsgrad der Abdichtung der Feuerzüge wird 1, wenn keine Beiluft zu den die Heizflächen bestreichenden Heizgase hinzutreten könnten. Dies ist der Fall bei Kesseln mit nur innerer Heizfläche, also bei Lokomotiv-, Schiffs- und Lokomobilkesseln. Bei Versuch II, der an einem „stationären Lokomotivkessel" vorgenommen war, wurde daher keine Beiluft gefunden. Es wäre nur bei gewissen Kesseln mit nur „innerer" Heizfläche ein Zutritt von Beiluft möglich, wenn der Feuerbrücken-Einbau unter dem Rost oder dessen Aschenthüre nicht völlig dicht schliessen würde. Der direkte Verlust durch Beiluft ist

$$Q_b = c'_p m_0 L'_0 \cdot (t_1 - \tau_1),$$

für

$c'_p = 0{,}24 \cdot m_0 = 0{,}2$, $L'_0 = t_{10}$ und $t_1 - \tau_1 = 300$ würde er 144 cal. betragen oder nahe $2^1/_2$ % der Brennstoffwärme.

Der Wirkungsgrad der Gasabführung

$$\eta_g = 1 - \frac{Q_g}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c}$$

wird ein Maximum wenn

$$Q_g = Q_{g\,\text{min}} = c_p(1 + L'_0 - A)\,t_0 - c'_p L'_0 \tau_1 \text{ ist.}$$

Für die Temperatur t_1 und die Luftmengen

$$L = mL'_0$$

und für die Aussenlufttemperatur τ_1, ist

$$Q_g = c_p(1 + mL'_0 - \mu - \mu_f)t_1 - c_p m_0 L'_0 \tau_1$$

und

$$\eta_g = 1 - \frac{c_p(1 + mL'_0 - (\mu + \mu_f) - c'_p m_0 L'_0 \tau_2}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c}.$$

Aus den Wirkungsgraden η''_a, η_b und η_g lässt sich der Wirkungsgrad der Berührungsheizfläche zusammensetzen.

Er wird

$$\eta''_2 = \frac{\eta_1(1-\eta'_2)H_c - (Q''_a + Q_b + Q_g)}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c}$$

$$= 1 - \frac{Q''_a}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c} - \frac{Q_b}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c} - \frac{Q_g}{\eta_1(1-\eta'_2)H_c}.$$

Setzt man die Wirkungsgrade η'_a, η_b und η_g ein, so folgt

$$\eta''_2 = \eta''_a + \eta_b + \eta_g - 2.$$

Die Wirkungsgrade erscheinen hier nicht als Faktoren wie im Wirkungsgrade der Feuerung, weil die Verluste nicht nacheinander, sondern gleichzeitig nebeneinander erfolgen.

Die Heizflächenformel, welche man gestützt, entweder auf die Newton'sche oder auf die Rankine'sche Hypothese, entwickelt hat, muss dem entsprechend abgeändert werden. Man wird die Wärmeabgabe der Gase an drei Heizflächen in Rechnung zu stellen haben. Von diesen Heizflächen ist die Heizfläche F_2 eine nützliche; die Berührungsfläche mit den Kanalwandungen und die ideelle Heizfläche zur Erwärmung der Beiluft aber stellen schädliche Heizflächen dar. Eine Berechnung der Endtemperatur der Gase hat für mittlere Verhältnisse ein um 60° niedrigeres t_1 ergeben, als ohne die Berücksichtigung von Q''_a und Q_b.

Der Wirkungsgrad des Kessels (der gewöhnlich berechnete) ist nun

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{H_c}$$

oder

$$= \frac{\eta_1 H_c \eta_1 + \eta_1(1-\eta'_2)\eta''_2 H_c}{H_c}$$

$$= \eta_1(\eta'_1 - [1 - \eta'_1]\eta''_2).$$

Dividirt man diesen Werth durch den Maximalwirkungsgrad η_{max}, so erhält man den wahren Wirkungsgrad der Kesselanlage

$$\eta_d = \frac{\eta_1(\eta'_2 - [1-\eta'_2]\eta''_2}{1 - \dfrac{c_p(1 + mL'_0)t_0}{H_c}}$$

M. Kriterium.

Schliesslich ist für jeden Versuch das „Kriterium"

$$K = 1000\frac{\varphi_k}{t_1},$$

aus welchem man einen Schluss auf die Vollkommenheit der Kesselanlage ziehen kann, wenn man K_{max} für jede Brennstoffart vorher bestimmt.

N. Brennstoffkosten für eine Tonne Normal-Dampf.

Ist P der Preis*) für eine Tonne Brennstoff, so erhält man den Preis für 1 Tonne Normal-Dampf, indem man schreibt

$$P = \frac{p}{\left(\dfrac{S_n}{B}\right)}.$$

Ist z. B. $P = 12$ ℳ und $\frac{S_n}{B}$, die Verdampfung nach dem Brennstoff, $= 7$, so wird $P = 1{,}714$ ℳ.

Die „Kapitalkosten" der Kesselanlage sind noch in jedem Falle hinzuzurechnen, wenn man die Gesammtkosten für eine Tonne Dampf erhalten will. Je nach der Grösse der Anlage- und der Bedienungskosten werden 10%—20% von den Brennstoffkosten hinzuzufügen sein. Die Kapital- und Bedienungskosten vermindern sich für 1 Tonne Dampf, wenn die jährliche Dampfproduktion des Kessels zunimmt. Bleibt dabei die Ausnützung des Brennstoffes dieselbe, so nehmen die Gesammtkosten für 1 Tonne Dampf um ebensoviel ab, als die darauf entfallenden Kapitalkosten.

*) Die Brennstoffkosten.

Die untersuchten Kesselanlagen und die Versuchsergebnisse.

Versuch I. Villeroy & Boch.

Paukschkessel, untersucht am 25. Mai 1889.
Leiter des Versuches: Lewicki, Prof. Hempel.
Beobachter: Assist. Heberlein, C. Enders, Stud. Hultzsch, Lorenz, Hellmund, Schmidt.
Versuchszeit: 8 Stunden 18 Minuten.

A. Kesselanlage. (Tafel I.)

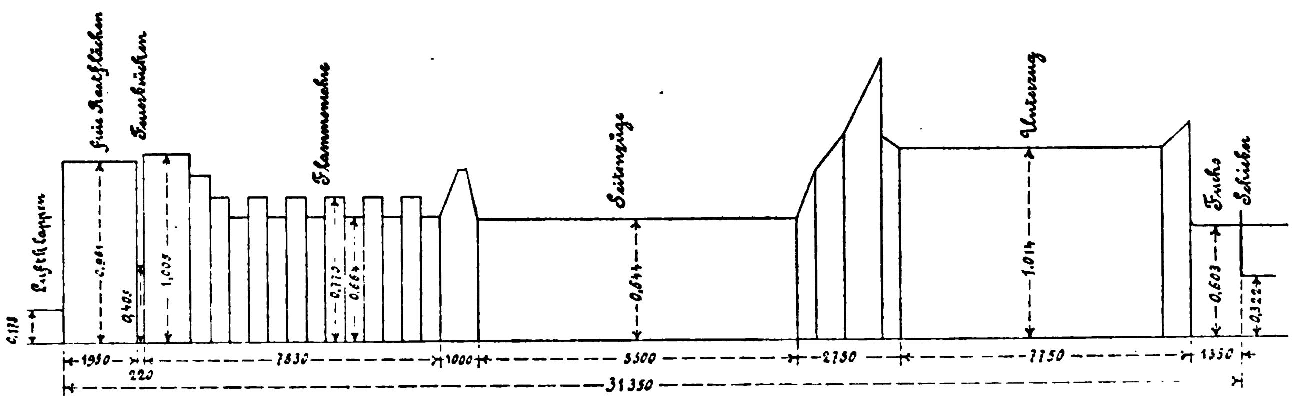
1. Kessel.

System und Allgemeines: Pauckschkessel mit Planrost, am 18. Februar 1889 in Betrieb gesetzt und Tag und Nacht ausser Sonntags benutzt. Fabrik-Nummer 3563. Der Kessel ist für 6 *kg/qcm* Ueberdruck gestempelt und mit 11 *kg/qcm* probirt.

Lage des Kessels: Der Kessel ist an 3 anderen Kesseln angebaut.

Hauptkessel:	Durchmesser	D	= 2100 *mm*
	Länge	L	= 10 000 „
	Blechstärke	δ	= 16 „
Flammrohre:	Zahl	i	= 2 Stück
	Zahl der Schüsse	i'	= 6, 6, 1, 3 Stück
	Durchmesser	D_1	= 650 700 750 800 *mm*
	Länge	L_1	= 500 500 500 1162 „
	Blechstärke	δ_1	= 10 10 12 12,5 „
Heizfläche:	direkte Heizfläche	F_1	= 2,952 *qm*
	indirekte „	F_2	= 77,548 „
	gesammte „	F	= 80,5 „

Wasserraum beim Versuch	V_1	= 19,685 *cbm*
Dampfraum „ „	V_2	= 6,839 „
Gesammtraum	V	= 26,524 „
Verhältniss „ „	$V_2 : V_1$	= 0,3479
„	$V_1 : V$	= 0,743
„	$V_2 : V$	= 0,258
Wasserspiegelfläche beim Versuch	O	= 17,8 *qm*
Wasserspiegelfläche : Heizfläche	$O : F$	= 0,221
Wasserstandsgläser: Anzahl	i_1	= 2 Stück
Sicherheitsventile „	i_2	= 2 „
Durchmesser	d_1	= 80 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	h	= 1760 „
Dampfabblaserohr: Durchmesser	d_3	= 119 *mm*
Länge	l_5	= 5929 „
Ausblaserohrmündung: Durchm.	d_5	= 119 „
Ventilerhebung beim Versuch im Mittel	h_2	= 2,06 „



Versuch I. Längen und Querschnitte der gesammten Zugführung.

2. Feuerung.

System: Innenfeuerung mit horizontalem Planrost.

Rost:	Roststabdicke	s	= 11 *mm*
	Roststabhöhe	h	= 120 „
	Roststablänge	a	= 650 „
	Rostspaltenbreite	s_0	= 6,5 „
	Rostbreite	b	= 800 „
	Rostlänge	l	= 2165 „
	Gesammte Rostfläche	R	= 3,032 *qm*
	Freie Rostfläche	R_0	= 0,961 „

Verhältniss: $\frac{R_0}{R} = 0,3169$

" $\frac{R}{F} = 0,038$

" $\frac{R}{O} = 0,173$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen	$f_0 = 0,178$ *qm*
" vor dem Rost	$f_1 = 0,150$ "
" der freien Rostfläche	$R_0 = 0,961$ "
" über der Feuerbrücke	$f_2 = 0,405$ "
" der engsten Rohrstelle	$f_3 = 0,664$ "
" des ganzen Fuchses	$f_4 = 0,603$ "
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	$f_5 = 0,252$ "
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (6 Beob.)	$f = 0,322$ "

Verhältniss $\frac{f}{R} = 0,1062$

" $\frac{f_0}{R} = 0,0586$

" $\frac{f_1}{R} = 0,0495$

" $\frac{R_0}{R} = 0,3169$

" $\frac{f_2}{R} = 0,1335$

" $\frac{f_3}{R} = 0,2190$

" $\frac{f_4}{R} = 0,1988$

" $\frac{f_5}{R} = 0,0831$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beob.)	$b = 748,08$ *mm*
Atmosphärischer Druck	$p_b = 1,017$ *kg/qcm*
Temperatur der Luft aussen	$\tau_1 = 24,7^0$
" " " im Kesselhaus (9 Beob.)	$\tau_2 = 31,74^0$
Psychrometer, befeuchtetes Thermometer (18 Beob.)	$\tau_3 = 17,16^0$
" , trockenes Thermometer (18 Beob.)	$\tau_4 = 24,58^0$
Luftfeuchtigkeitsgrad:	$\varphi = 46,1$ %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	$G_w = 10,5$ *g*

Wetter: Heiss und trocken.

C. Brennmaterial.

1. Brennstoffart.

Brennstoff: Hänichener	Kesselkohle	110 *kg*	420 *kg*
Zauckeroder	Waschkohle	110 "	
Biliner	Braunkohle	200 "	

Preis von 100 *kg* Brennstoff mit Fracht:

Hänichener	Kohle	= 0,991 ℳ
Zauckeroder	"	= 0,922 "
Biliner	"	= 0,651 "

2. Elementar-Analyse.

$C =$	56,66 %
$H =$	4,39 "
$O =$	5,56 "
$N =$	3,21 "
$S =$	2,12 "
Grubenfeuchtigkeit =	9,70 } 18,96 %
Hygroskop. Wasser =	9,26 }
Asche =	9,10 %

Verkokungsrückstand zusammengebacken = 56,5 %

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth	$H_t = 5601$ Cal.
Calorimetrischer "	$H_c = 5162$ "

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand. Es fanden 137 Beschickungen statt zu ca. 25,3 *kg*.

2. Brennstoffmenge.

	Zeitdauer	$Z = 8,3$ Std.
Brennstoffmenge:	im Ganzen	$ZB = 3420,8$ *kg*
	stündlich	$B = 412,15$ "

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} = 135,93$ *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} = 701671,66$ Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} = 5,12$ *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} = 26429,44$ Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} = 23,15$ *kg*

4. Herd-Rückstände.

Asche im Ganzen		= 195 *kg*
" für 1 *kg* Brennstoff	μ_1	= 0,0570 "
Schlacke im Ganzen		= 265 "
" für 1 *kg* Brennstoff	μ_2	= 0,078 "
Asche und Schlacke im Ganzen		= 460 "
" " " für 1 *kg* Brennstoff	μ	= 0,135 "
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	μ_0	= 0,157 "
Theroet. Heizwerth der Asche u. Schlacke	h_t	= 1256 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	μ_a	= 0,1134 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	μ_f	= −0,0224 "

5. Rauchgas-Analysen.

Durchschnitt aus 10 Einzelanalysen im Flammrohr $CO_2 = 11{,}2\,\%$
$O = 7{,}1$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff nach der Analyse $L_0 = 7{,}758$ *kg*
„ Welter $L'_0 = 7{,}729$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0{,}237$ „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 7{,}492$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr $L = 12{,}34$ „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 1{,}597$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Durchschnittlich leichter Rauch.

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 13{,}21$ *kg*
stündlich $G' = 5444{,}5$ „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluttemperatur (14 Beob.) $t_3 = 1454^0$
Fuchstemperatur (100 Beob.) $t_1 = 380{,}5^0$
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0{,}246$
„ „ „ zugeführten Luft $c'_p = 0{,}24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (34 Beob.) Wassersäule $h = 16{,}18$ *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 2{,}48$ *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0{,}026$ *mm*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 73{,}15$ Cal.

F. Speisung.

Das Speisewasser wurde aus der städtischen Wasserleitung entnommen. Im gewöhnlichen Betrieb wird das Auswurfwasser des Kondensators benutzt.

Die Förderung erfolgte durch den Cohnfeld'schen Apparat.

Die Wassermessung geschah mittelst eines Kübels von 200 *kg* Wasserinhalt, der in ein Reservoir geleert wurde.

Das Speisen dauerte im Durchschnitt 10 Min. und wurde 33 Mal ungefähr alle 6 Min. wiederholt.

Wasserstand im Kessel zu Anfang des Versuchs $\Delta_1 = 14{,}5$ *mm*
Wasserstand im Kessel zu Ende des Versuchs $\Delta_2 = 17{,}5$ „
Speisewassertemperatur im Mittel (71 Beob.) $\tau_0 = 13{,}98^0$
Speisewassermenge im Ganzen $\Sigma S = 17966$ *kg*
stündlich $S = 2164{,}58$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck $p_b = 1{,}017$ *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Manometer (34 Beob.) $p_u = 5{,}438$ „
Dampfdruck zu Anfang des Versuchs $p_1 = 5{,}6$ „
„ „ Ende „ „ $p_2 = 5{,}2$ „
Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 = 6{,}455$ „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes $p' \cong 0$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel $t_0 = 162{,}12^0$
„ „ des ausströmenden Dampfes (34 Beob.) $t'_1 = 132{,}63^0$
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u = 33{,}08^0$

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme von 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 = 655{,}94$ Cal.
„ des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 = 645{,}05$ „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0} = 13{,}98$ „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf λ_e 630,94 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e = 3312$ „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge $S = 2164{,}58$ *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} = 26{,}89$ „
„ „ „ 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} = 5{,}25$ „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} = 5{,}199$ „
Stündl. Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} = 121{,}61$ „
„ „ „ 1 „ Rostfläche $\frac{S}{R} = 713{,}91$ „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 = 9{,}9$ *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} = 16966$ Cal.
Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_e}{F} = 2642944$ „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 2{,}0\,\%$

H. Wärmeverluste.

Rostverlust $Q_r = 169$ Cal.
Verlust durch die abziehenden Gase $Q_g = 1163$ „
Nicht direkt bestimmte Verluste $Q'_0 = 518$ „
Gesammtverlust $Q_0 = 1850$ „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0° $H_c = 5162$ Cal.

Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht $Q_d = 4827$ „

K. Wärmebilanz.

Verlust durch den Rost $Q_r = 169$ Cal.

Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge $Q_e = 3312$ „

Verlust durch die Abzugsgase $Q_g = 1163$ „

Nicht direkt bestimmte Verluste . $Q'_0 = 518$ „

Summe $= H_c = 5162$ Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes $\eta_0 = 0{,}9673$

„ der direkten Heizfläche $\eta'_2 = 0{,}3$

„ der Kesselanlage $\eta = 0{,}6416$

„ bezogen auf die disponible Wärmemenge $\eta_d = 0{,}6873$

Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage $\eta_{max} = 0{,}9351$

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}294$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 1{,}64$ ℳ

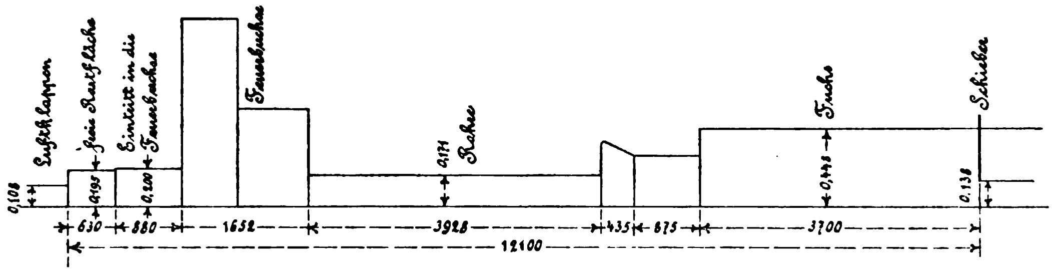
Versuch II. Schlesischer Bahnhof, Dresden.

Stationärer Lokomotivkessel, untersucht am 18. Juli 1889.
Leiter: Lewicki.
Versuchszeit: 8 Stunden.

Feuerröhren: Anzahl der Rohre $i_0 = 110$ Stück
Durchmesser $d = 44{,}5$ *mm*
Länge $l = 3928$ „
Heizfläche: Gesammte Heizfläche $F = 65$ *qm*
Wasserraum beim Versuch $V_1 = 2{,}08$ *cbm*
Dampfraum „ „ $V_2 = 1{,}58$ „
Gesammtraum $V = 3{,}66$ „
Verhältniss $\frac{V_2}{V_1} = 0{,}751$
„ $\frac{V_1}{V} = 0{,}568$
„ $\frac{V_2}{V} = 0{,}432$
Wasserspiegelfläche beim Versuch $O = 4{,}653$ *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche $\frac{O}{F} = 0{,}0716$
Wasserstandsgläser: Anzahl $i_1 = 1$ Stück
Sicherheitsventile: Anzahl $i_2 = 2$ „
Durchmesser $d_1 = 89{,}5$ *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel $h = 576$ „
Höhe des Speisewassereintritts unter dem Wasserspiegel $h_1 = 254$ „
Speiseleitung: Durchmesser $d_2 = 38$ „
Dampfabblaserohr: „ $d_3 = 80$ „
Länge $l_5 = 4416$ „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser $d_5 = 85$ „

2. Feuerung.

System: Vorfeuerung mit schrägem Rost.
Rost: Roststabdicke des schrägen Rostes $s_1 = 10$ *mm*



Versuch II.

A. Kesselanlage. (Tafel II.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Lokomotivkessel, erbaut von John Cockrill in Seraing im Jahre 1847 für 5 *kg/qcm* Ueberdruck, Fabrik-Nummer 189. Die Feuerung ist vollständig erneuert gelegentlich der inneren und äusseren Revision am 1. Oktober 1888 und seit dieser Zeit wieder in Betrieb genommen.

Der Kessel selbst ist Reservekessel.

Lage des Kessels: Der Kessel stand isolirt im Kesselhaus, der nebenliegende Cornwallkessel war in Betrieb.

Hauptkessel: Durchmesser $D = 1040$ *mm*
Länge $L = 5074$ „
Blechstärke $\delta = 13$ „

Roststabhöhe des schrägen Rostes $h_1 = 65$ *mm*
Roststablänge „ „ „ $a_1 = 970$ „
Rostspaltenweite „ „ „ $s'_0 = 6{,}5$ „
Roststabdicke „ geraden „ $s_2 = 18$ „
Roststabhöhe „ „ „ $h_2 = 76$ „
Roststablänge „ „ „ $a_2 = 405$ „
Rostspaltenweite „ „ „ $s''_0 = 28$ „
Gesammte Rostfläche $R = 1{,}079$ *qm*
Freie Rostfläche $R_0 = 0{,}324$ „
Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0{,}300$
„ $\frac{R}{F} = 0{,}0166$
„ $\frac{R}{O} = 0{,}232$

3. Zugführung.

a) Primäre Luftzuführung.

Querschnitt vor dem Rost	f_1	$= 0{,}722$ qm
„ der freien Rostfläche	R_0	$= 0{,}324$ „
„ über der Feuerbrücke	f_2	$= 0{,}368$ „
„ der engsten Rohrstelle	f_3	$= 0{,}171$ „
„ des ganzen Fuchses	f_4	$= 0{,}448$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5	$= 0{,}263$ „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (3 Beob.)	f	$= 0{,}138$ „
Verhältniss	$\frac{f}{R}$	$= 0{,}128$
„	$\frac{f_1}{R}$	$= 0{,}669$
„	$\frac{R_0}{R}$	$= 0{,}300$
„	$\frac{f_2}{R}$	$= 0{,}341$
„	$\frac{f_3}{R}$	$= 0{,}158$
„	$\frac{f_4}{R}$	$= 0{,}415$
„	$\frac{f_5}{R}$	$= 0{,}244$

b) Sekundäre Luftzuführung.

Querschnitt für die sekundäre Luftzuführung: $f'_0 = 0{,}108$ qm

Verhältniss $\frac{f'_0}{R} = 0{,}1001$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand	(10 Beob.)	b	$= 750{,}8$ mm
Atmosphärischer Druck		p_b	$= 1{,}02$ kg/qcm
Temperatur der Luft: Aussen	(10 Beob.)	τ_1	$= 20{,}1^0$
Innen	(15 Beob.)	τ_2	$= 27{,}5^0$
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer	(17 Beob.)	τ_3	$= 17{,}47^0$
Trockenes Thermometer	(17 Beob.)	τ_4	$= 23{,}85^0$
Luftfeuchtigkeitsgrad		φ	$= 51$ %
Wassergehalt in 1 cbm Luft		G_w	$= 9{,}5$ g

Wetter: Der Horizont war theilweise bedeckt, etwas Wind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Stein- und Braunkohle zu gleichen Gewichtstheilen.

Die Steinkohle war Waschkohle aus den Burgker Werken.

Gewicht für 1 hl Steinkohle	= 77,5 kg
Preis für 100 kg „	= 75 ₰.
Fracht für 100 kg „	= 12,4 „

Die Braunkohle war Mittelkohle I von der gräfl. Sylva-Taronca-Nostitz'schen Bergdirektion in Tünnitz an der Aussig-Teplitzer Eisenbahn.

Gewicht für 1 hl Braunkohle	= 73,2 kg
Preis für 100 kg „	= 46 ₰.
Fracht für 100 kg „	= 33,9 „

2. Elementaranalyse.

C	= 57,42 %
H	= 4,51 „
O	= 5,28 „
N	= 3,11 „
S	= 0,91 „
Grubenfeuchtigkeit	= 8,56 „
Hygrosk. Wasser	= 9,96 „
Asche	= 10,25 „
Verkokungsrückstand, zusammengebacken	= 57,8 „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth: $H_t = 5679$ Cal.
Calorimetrischer Heizwerth: $H_c = 5254$ „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte mit einem Fülltrichter, welcher durch Körbe beschickt wurde; je ein Korb zu 26 kg in ungefähr 18,5 Minuten.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer des Versuches	Z	= 8,00 Stunden
Brennstoffmenge: Im Ganzen	ZB	= 1196 kg
„ stündlich	B	= 149,5 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} = 138{,}5$ kg
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} = 727964$ Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} = 2{,}30$ kg
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} = 12084$ Cal.
Brennstoffmenge auf 1 qm Spiegelfläche	$\frac{B}{O} = 32{,}13$ kg.

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke: Im Ganzen		= 151,75 kg
für 1 kg Brennstoff	μ	= 0,127 „
Verbrennliches in 1 kg Asche und Schlacke	μ_0	= 0,332 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	h_t	= 2656 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 kg Brennstoff	μ_a	= 0,0848 kg
Flugasche für 1 kg Brennstoff	μ_f	= 0,0177 „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 13 Einzelanalysen im Flammrohr und Fuchs $CO_2 = 12{,}12$ %
$O = 7{,}08$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff
Nach der Analyse $L_0 = 7,845$ *kg*
Nach Welter $L'_0 = 7,864$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0,473$ „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 7,391$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr und im Fuchs $L = 12,09$ „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr und im Fuchs $\frac{L}{L'_0} = m = 1,537$
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $L_1 = 0$ *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge $m_0 = 0$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Nur zuweilen sehr schwacher Rauch.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase $\cong 0$

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr und im Fuchs:
Für 1 *kg* Brennstoff $G_0 = 12,94$ *kg*
Stündlich $G = 1934,53$ „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluttemperatur (8 Beob.) $t_3 = 1386^0$
(berechnet) $t'_3 = 1545^0$
Fuchstemperatur (95 Beob.) $t_1 = 262,1^0$
Specifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0,246$
„ „ der zugeführten Luft $c'_p = 0,24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (33 Beob.) $h = 10,58$ *mm* Wassersäule
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 1,319$ *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0,0277$ *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen $w_m = 2,337$ *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 58$ Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_b = 0$ „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus der städtischen Leitung entnommen.

Die Förderung erfolgte durch einen Injektor.

Es wurden jedesmal 150 *kg* Wasser abgewogen und in ein Reservoir abgelassen, aus welchem der Injektor saugte.

Das Speisen erfolgte 53 mal circa 2 Minuten lang in Pausen von ungefähr 9 Minuten.

Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:
Zu Anfang des Versuches $\varDelta_1 = 89$ *mm*
„ Ende „ „ $\varDelta_2 = 89$ „
Speisewassertemperatur im Mittel (33 Beob.): $\tau_0 = 19,73^0$
Speisewassermenge: Im Ganzen $ZS = 7660$ *kg*
Stündlich $S = 957,5$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme:

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck $p_b = 1,02$ *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck (33 Beob.) $p_u = 4,47$ „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches $p_1 = 3,9$ „
„ „ Ende „ „ $p_2 = 3,9$ „
Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 = 5,49$ „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (33 Beob.) $p' = 0,00303$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel $t_0 = 154,52^0$
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes (33 Beob.) $t'_1 = 125,2^0$
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u = 25,50^0$.

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 = 653,63$ Cal.
„ „ des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 = 644,82$ „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0} = 19,73$ „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e = 624,97$ „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e = 4003$ „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge $S = 957,5$ *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} = 14,731$ „
„ „ „ 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} = 6,401$ „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bez. auf Normaldampf $\frac{Sn}{B} = 6,286$ „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} = 205,781$ „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche $\frac{S}{R} = 887,395$ „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 = 19,6$ *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} = 9206$ Cal.
Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_e}{F} = 12084$ „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 1{,}8\ {}^0/_0$.

H. Wärme-Verluste (für 1 *kg* Brennstoff).

Rostverlust	$Q_r =$	337 Cal.
Verlust durch Bildung von CO	$Q_k =$	0 „
„ „ „ „ CH_4	$Q_m =$	0 „
„ „ „ „ Russ	$Q_c \cong$	0 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	$Q'_a =$	55 „
„ „ unvollständige Verbrennung: $Q_k + Q_m + Q_c = Q_v$	$\cong$	0 „
„ „ äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	83 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	$Q_a =$	138 „
Verlust durch die Beiluft	$Q_b =$	0 „
„ „ „ abziehenden Gase Q_g	$= Q_f =$	776 „
Gesammtverlust	$Q_0 =$	1251 „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	5254 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	4921 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	337 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v \cong$	0 „
„ durch äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	55 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	4003 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	83 „
„ „ innere „ „ „	$Q_b =$	0 „
„ „ die Abzugsgase	$Q_g =$	776 „
Summa	$= H_c =$	5254 Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	$\eta_0 =$	0,9358
„ der Verbrennung	$\eta'_0 \cong$	1
„ „ Einhüllung der Feuerung	$\eta'_a =$	0,9882
„ „ direkten Heizfläche	$\eta'_2 =$	0,2
„ „ Feuerung	$\eta_1 =$	0,9248
„ „ indirekten Heizfläche	$\eta''_2 =$	0,7888
Maximalwirkungsgrad der indirek. Heizfläche	$\eta''_{II} =$	0,9314
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	$\eta''_a =$	0,9823
„ „ Dichtung gegen Beiluft	$\eta_b =$	1
„ „ Gasabführung	$\eta_g =$	0,8487
Wirkungsgrad des Kessels	$\eta_2 =$	0,8310
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,7619
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9366
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,8135.

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}462$.

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 1{,}331$ ℳ

Versuch III und IV.
Schlesischer Bahnhof, Dresden.

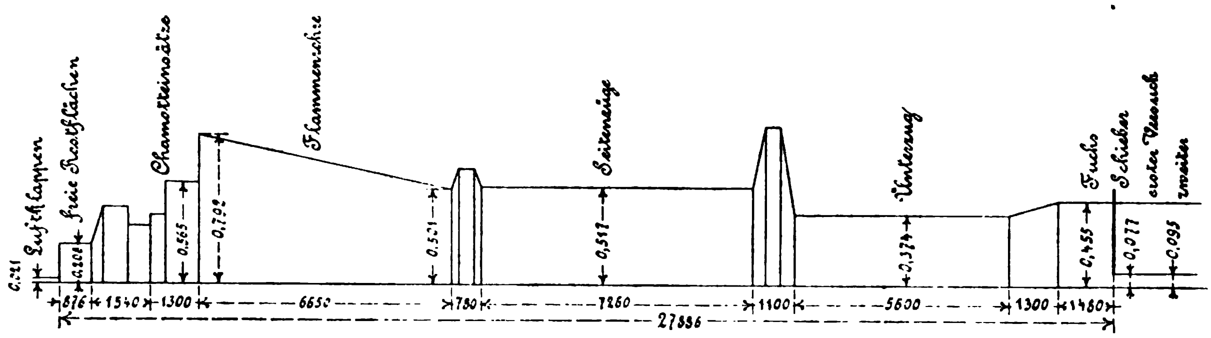
Cornwallkessel mit Vorfeuerung, untersucht am 27. und 28. September 1889.

Leiter: Lewicki.

Beobachter: Assist. Heberlein und Enders, Stud. Ring und Connert.

Feuermann: Tauber.

Versuchszeit: Versuch III = 8 Stunden 19,5 Minuten.
„ IV = 8 „ 21,5 „



Versuch III und IV.

A. Kesselanlage. (Tafel III.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cornwallkessel mit 2 Flammrohren, erbaut von Jac. Piedboeuf, Düsseldorf, im Jahre 1872 für 5 *kg/qcm* Ueberdruck, Fabrik-Nummer 634. Mit Vorfeuerung eingerichtet und in Betrieb genommen am 22. Januar 1889.

Der nebenliegende Reservekessel, stationärer Lokomotivkessel, war in Betrieb.

Lage des Kessels: Der Kessel stand isolirt im Kesselhaus.

Hauptkessel:	Durchmesser	$D =$	1900 *mm*
	Länge	$L =$	7950 „
	Blechstärke	$\delta =$	14 „
Flammrohre:	Anzahl	$i =$	2 Stück
	Durchmesser	$D_1 =$	710 *mm*
	Länge	$L_1 =$	8150 „
	Blechstärke	$\delta_1 =$	12 „
Heizfläche:	Gesammte Heizfläche	$F =$	57 *qm*.

		Vers. III.	Vers. IV.
Wasserraum beim Versuch	$V_1 =$	13,097 *cbm*	13,079 *cbm*
Dampfraum „ „	$V_2 =$	4,256 „	4,274 „

		Vers. III.	Vers. IV.
Gesammtraum	V =	17,353 *cbm*	17,353 *cbm*
Verhältniss	$\frac{V_2}{V_1}$ =	0,325	0,328
„	$\frac{V_1}{V}$ =	0,755	0,754
„	$\frac{V_2}{V}$ =	0,245	0,246
Wasserspiegelfläche beim Versuch	O =	12,28 *qm*	12,42 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$\frac{O}{F}$ =	0,215	0,218

Wasserstandsgläser: Anzahl	i_1 =	1 Stück
Sicherheitsventile: „	i_2 =	2 „
Durchmesser	d_1 =	89,5 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	h =	875 „
Höhe des Speisewassereintritts unter dem Wasserspiegel	h_1 =	340 „
Dampfabblaserohr: Durchmesser	d_3 =	80 „
Länge	l_5 =	4250 „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser	d_5 =	85 „

2. Feuerung.

System: Vorfeuerung mit schrägem Rost:

Rost: Roststabdicke	s =	15 *mm*
Roststabhöhe	h =	122 „
Roststablänge	a =	1000 „
Rostspaltenweite	s_0 =	15 „
Rostbreite	b =	1350 „
Rostlänge	l =	1000 „
Gesammte Rostfläche	R =	1,35 *qm*
Freie „	R_0 =	0,208 „
Verhältniss	$\frac{R_0}{R}$ =	0,154 „
„	$\frac{R}{F}$ =	0,0237

		Vers. III.	Vers. IV.
„	$\frac{R}{O}$ =	0,101	0,109.

3. Zugführung.

a) Primäre Luftzuführung.

Querschnitt vor dem Rost	f_1 =	0,119 *qm*
„ der freien Rostfläche	R_0 =	0,208 „
„ über der Feuerbrücke	f_2 =	0,316 „
„ der engsten Rohrstelle	f_3 =	0,501 „
„ des ganzen Fuchses	f_4 =	0,455 „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5 =	0,550 „

Mittlerer Fuchsquerschnitt beim

		Vers. III.	Vers. IV.
Versuch: Anzahl der Beob.	=	11	6
	f =	0,077 *qm*	0,095 *qm*
Verhältniss	$\frac{f}{R}$ =	0,057	0,0704

Verhältniss	$\frac{f_1}{R}$ =	0,0881
„	$\frac{R_0}{R}$ =	0,154
„	$\frac{f_2}{R}$ =	0,234
„	$\frac{f_3}{R}$ =	0,371
„	$\frac{f_4}{R}$ =	0,337
„	$\frac{f_5}{R}$ =	0,407

b) Sekundäre Luftzuführung.

		Vers. III.	Vers. IV.
Querschnitt für die sekundäre Luftzuführung	f'_0 =	0,0209 *qm*	0,015 *qm*
Verhältniss	$\frac{f'_0}{R}$ =	0,0155	0,0111

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beob.)	b =	752,54 *mm*	744,74 *mm*
Atmosphärischer Druck	p_b =	1,023 *kg/qcm*	1,013 *kg/qcm*
Temperatur der Luft			
Aussen (9 Beob.)	τ_1 =	14,6°	13,8°
Innen (9 Beob.)	τ_2 =	30,7°	32,6°
Psychrometer: Anzahl der Beob.		17	18
Befeuchtetes Thermometer	τ_3 =	22,15°	21,64°
Trockenes „	τ_4 =	27,92°	27,21°
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ =	62 %	59,8 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	G_w =	7,9 *g*	5,1 *g*

Wetter: An beiden Tagen sehr veränderlich, Nachmittags leichter Niederschlag.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Dieselbe bestand an beiden Versuchstagen zu gleichen Gewichtstheilen aus Stein- und Braunkohle. Die Steinkohle war Schmiedekohle aus Zauckerode.

Preis für 100 *kg* Steinkohle = 75 ₰.
Fracht „ 100 „ „ = 11,2 „

Die Braunkohle war Mittelkohle II von der gräfl. Sylva-Taronca-Nostitz'schen Bergdirektion in Tünnitz an der Aussig-Teplitzer Bahn.

Preis für 100 *kg* Braunkohle = 42,5 ₰.
Fracht „ 100 „ „ = 30,5 „

2. Elementaranalysen.

	Vers. III.	Vers. IV.
C =	55,12 %	55,56 %
H =	4,31 „	4,24 „
O =	5,44 „	6,31 „
N =	2,90 „	2,93 „
S =	1,28 „	1,21 „
Grubenfeuchtigkeit =	8,90 „	8,30 „
Hygrosk. Wasser =	11,60 „	11,27 „
Asche =	10,45 „	10,18 „
Verkokungsrückstand, zusammengebacken =	54 „	57,7 „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth	$H_t =$	5427 Cal.	5413 Cal.
Calorimetrischer „	$H_c =$	5254 „	5301 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte mit einem Fülltrichter, welcher durch Körbe beschickt wurde; je ein Korb zu 50 *kg* Inhalt in ungefähr 22,8 Minuten am ersten, und in annähernd 15,7 Minuten am zweiten Versuchstag.

2. Brennstoffmenge.

		Vers. III.	Vers. IV.
Zeitdauer des Versuches	$Z =$	8,325 Stund.	8,358 Stund.
Brennstoffmenge: Im Ganzen	$ZB =$	1100 *kg*	1600 *kg*
„ stündlich	$B =$	132,13 „	191,42 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} =$	97,874 *kg*	141,793 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} =$	514230 Cal.	751642 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} =$	2,318 *kg*	3,358 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} =$	12179 Cal.	17802 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} =$	10,760 *kg*	15,412 *kg*

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke:			
Im Ganzen	$=$	148,2 *kg*	149,1 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu =$	0,1347 „	0,0932 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	$\mu_0 =$	0,172 „	0,1194 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	$h_t =$	1376 Cal.	955 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_a =$	0,1115 *kg*	0,0821 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_f =$	−0,0070 „	0,0197 „

5. Rauchgasanalysen.

Durchnitt aus Einzelanalysen im Flammrohr:	Anzahl =	19	17
	$CO_2 =$	7,8 %	9,6 %
	$O =$	11,45 „	8,4 „

6. Luftmengen.

		Vers. III.	Vers. IV.
Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:			
Nach der Analyse	$L_0 =$	7,524 *kg*	7,512 *kg*
„ Welter	$L'_0 =$	7,865 „	7,917 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	$l_0 =$	0,260 „	0,125 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0 =$	7,605 *kg*	7,792 *kg*
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr	$L =$	17,97 „	14,88 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m' =$	2,285	1,879.

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Ganz leichter Rauch.

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr:			
Für 1 *kg* Brennstoff	$G'_0 =$	18,84 *kg*	15,77 *kg*
Stündlich	$G' =$	2489,33 „	3018,69 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung:

		Vers. III.	Vers. IV.
Gluthtemperatur: Anzahl der Beobachtungen	$=$	8	8
	$t_8 =$	1581°	1704°
Fuchstemperatur: Anzahl der Beobachtungen	$=$	100	101
	$t_1 =$	319,8°	361,3°
Specifische Wärme der Gase im Fuchs	$c_p =$	0,246	0,246
Specifische Wärme der zugeführten Luft	$c'_p =$	0,24	0,24.

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber:			
Anzahl der Beob.	$=$	33	34
	$h =$	7,58 *mm* Wassers.	6,1 *mm* Wassers.
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	$w =$	2,726 *m*	2,614 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	$c =$	0,0199 *mm*	0,0227 *mm*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	$Q'_l =$	63 Cal.	49 Cal.

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus der städtischen Leitung entnommen. Die Förderung erfolgte durch einen Injektor. Bei beiden Versuchen wurden jedesmal 175 *kg* Wasser abgewogen und in das Reservoir abgelassen, aus welchem der Injektor saugte.

Das Speisen erfolgte beim ersten Versuch 13 mal ungefähr 10,8 Minuten lang in Pausen von annährend 24 Minuten, beim zweiten Versuch 20 mal ungefähr 10 Minuten lang in Pausen von annährend 14 Minuten.

		Vers. III.	Vers. IV.
Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:			
Zu Anfang des Versuches	$\varDelta_1 =$	125 *mm*	105 *mm*
„ Ende „ „	$\varDelta_2 =$	125 „	105 „
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten: Anzahl der Beobachtungen	$=$	5	8
	$\varDelta =$	113 *mm*	106 *mm*
Speisewassertemperatur im Mittel: Anzahl der Beob.	$=$	32	34
	$\tau_0 =$	15,2 °	14,8 °
Speisewassermenge:			
Im Ganzen	$ZS =$	4960 *kg*	7412 *kg*
Stündlich	$S =$	595,8 „	886,8 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

		Vers. III.	Vers. IV.
Atmosphärischer Druck	$p_b =$	1,023 *kg/qcm*	1,013 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck: Anzahl der Beobachtungen		35	35
	$p_u =$	4,35 „	4,30 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	$p_1 =$	4,4 „	4,3 „
Dampfdruck zu Ende des Versuchs	$p_2 =$	4,1 „	4,3 „
Absoluter mittl. Dampfdruck	$p_0 =$	5,373 „	5,313 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beob.	$=$	29	32
	$p' =$	0,00068 „	0,00122 „

3. Dampftemperaturen.

		Vers. III.	Vers. IV.
Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	$t_o =$	153,70 °	153,28 °
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beob.		34	33
	$t'_0 =$	123,54 °	126,10 °
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	$t_u =$	23,82 °	26,64 °

4. Wärmemengen.

		Vers. III.	Vers. IV.
Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf	$\lambda_0 =$	653,38 Cal.	653,25 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes	$\lambda'_0 =$	644,16 „	644,96 „
Im Speissewasser zugeführte Wärmemenge	$q_{\tau 0} =$	15,2 „	14,8 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	$\lambda_e =$	628,85 „	630,06 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	$Q_e =$	2835 „	2919 „

5. Dampfmengen.

		Vers. III.	Vers. IV.
Stündliche Dampfmenge:	$S =$	595,8 *kg*	886,8 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F} =$	10,453 „	15,558 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B} =$	4,509 „	4,633 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B} =$	4,452 „	4,582 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O} =$	48,518 „	71,401 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R} =$	441,333 „	656,889 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	$w_0 =$	4,7 *mm*	7,0 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F} =$	6573 Cal.	9802 Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F} =$	12179 Cal.	17802 Cal.

6. Wassergehalt des Dampfes.

		Vers. III.	Vers. IV.
Wassergehalt des Dampfes im Kessel	$\varphi_d \cong$	1,9 %	1,7 %.

H. Wärmeverluste.

		Vers. III.	Vers. IV.
Rostverlust	$Q_r =$	185 Cal.	89 Cal.
Verlust durch die abziehenden Gase	$Q_g =$	1419 „	1353 „
Summe der nicht bestimmten Verluste	$Q'_0 =$	815 „	940 „
Gesammtverlust	$Q_0 =$	2419 „	2382 „

I. Disponible Wärmemengen.

		Vers. III.	Vers. IV.
Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	5254 Cal.	5301 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	4923 „	4969 „

K. Wärme-Bilanz.

		Vers. III.	Vers. IV.
Verlust durch den Rost	$Q_r =$	185 Cal.	89 Cal.
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	2835 „	2919 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1419 „	1353 „
Summe der nicht bestimmten Verluste	$Q'_o =$	815 „	940 „
Summe	$= H_c =$	5254 Cal.	5301 Cal.

L. Wirkungsgrade.

		Vers. III.	Vers. IV.
Wirkungsgrad des Rostes:	$\eta_0 =$	0,9647	0,9832
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,5396	0,5507
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9370	0,9458
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,5759	0,5874.

M. Kriterium.

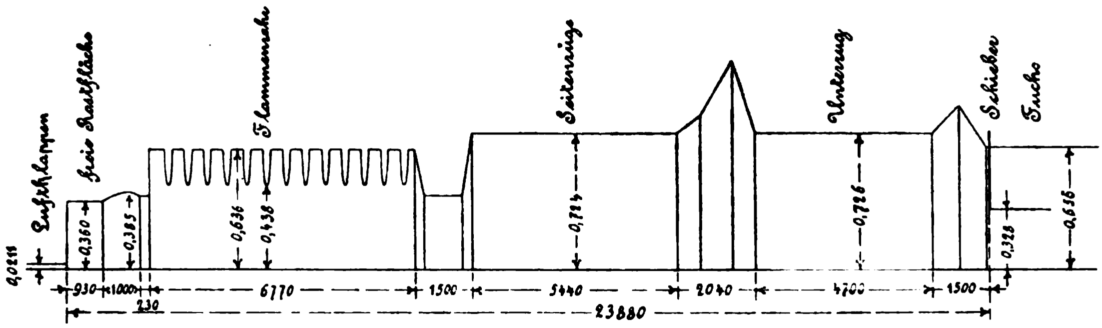
Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes	$K =$	0,244	0,266

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P =$	1,788 ℳ	1,757 ℳ

Versuch V. Schiffswerft Uebigau.

Gallowaykessel, untersucht am 23. Mai 1890.
Leiter des Versuches: Lewicki.
Beobachter: Assist. Heberlein, Hille, Enders, Stud. Bierling.
Feuermann: W. Hippo.
Versuchszeit: 8 Stunden 54 Min.



Versuch V.

A. Kesselanlage. (Tafel IV.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Gallowaykessel mit Vorfeuerung, erbaut von der Sächs. Maschinenfabrik Chemnitz im Jahre 1885. Fabrik-Nummer 1805. Konzessionirt für 7 *kg/qcm* Ueberdruck. Ursprünglich mit Treppenrost versehen, erhielt der Kessel am 1. Juni 1887 Donneley-Feuerung.

Letzte Reinigung des Kessels Weihnachten 1889.

Lage des Kessels. Der Kessel lag allein im Kesselhaus eingemauert.

Hauptkessel:	Durchmesser	D	= 1800 *mm*
	Länge	L	= 7000 *mm*
	Blechstärke	δ	= 15 „
Flammrohre:	Zahl der Flammrohre	i	= 1 Stück
	„ „ Schüsse	i'	= 7 „
	Durchmesser der Schüsse	D_1	= 900 *mm*
	Länge „ „	L_1	= 995 „
	Blechstärke „ „	δ_1	= 12 „
Gallowayrohre:	Zahl der Gallowayrohre	i''	= 13 „
	Durchmesser der „	d	$= \frac{240}{140}$ „
	Länge der „	l	= 900 „
	Blechstärke „	δ_2	= 12 „
Heizfläche		F	= 48,288 *qm*
Wasserraum beim Versuch		V_1	= 9,776 „
Dampfraum „ „		V_2	= 4,229 „
Gesammtraum		V	= 14,005 „
Verhältniss		$V_2 : V_1$	= 0,433
		$V_1 : V$	= 0,698
		$V_2 : V$	= 0,302
Wasserspiegelfläche beim Versuch		O	= 11,09 *qm*
Wasserspiegelfläche : Heizfläche		$O : F$	= 0,2296
Sicherheitsventile:	Anzahl	i_2	= 1 Stück
	Durchmesser	d_1	= 90 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel		h	= 1160 *mm*
Speisewassereintritt unter dem Wasserspiegel		h_1	= 1220 „
Dampfabblaserohr:	Durchmesser	d_3	= 85 „
	Länge	l_5	= 4400 „
Ausblaserohrmündung:	Durchmesser	d_5	= 85 „
Ventilerhebung beim Versuch		h_2	= 1,5 *mm*

2. Feuerung.

System: Donneley.

Rost:	Roststabdicke	s	= 20 *mm*
	Roststabhöhe	h	= 190 „
	Roststablänge	a	= 1220 „
	Rostspaltenweite	s_0	= 4 „
	Rostbreite	b	= 1220 „
	Rostlänge	l	= 1000 „
	Gesammte Rostfläche	R	= 1,2 *qm*
	freie „	R_0	= 0,360 „
	Verhältniss	$\frac{R_0}{R}$	= 0,300
	„	$\frac{R}{F}$	= 0,025
	„	$\frac{R}{O}$	= 0,108

3. Zugführung.

a) Primäre Luftzuführung.

Querschnitt für die primäre Luftzuführung	f_0	= 1,126 *qm*
„ der freien Rostfläche	R_0	= 0,360 „
„ über der Feuerbrücke	f_2	= 0,385 „
„ der engsten Rohrstelle	f_3	= 0,438 „
„ des ganzen Fuchses	f_4	= 0,656 „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5	= 0,667 „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch	f	= 0,328 „
Verhältniss	$\frac{f}{R}$	= 0,273
„	$\frac{f_0}{R}$	= 0,938
„	$\frac{R_0}{R}$	= 0,300
„	$\frac{f_2}{R}$	= 0,328
„	$\frac{f_3}{R}$	= 0,403
„	$\frac{f_4}{R}$	= 0,547
„	$\frac{f_5}{R}$	= 0,556

b) sekundäre Luftzuführung.

Querschnitt für die sekundäre Luftzuführung	f'	= 0,0211 *qm*
Verhältniss	$\frac{f'}{R}$	= 0,938

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beob.)	b	= 749,9 *mm*
Atmosphärischer Druck	p_b	= 1,020 *kg/qcm*
Temperatur der Luft aussen (9 Beob.)	τ_1	= 12,27°
Psychrometer: befeuchtetes Thermometer (18 Beob.)	τ_3	= 11,79°
trockenes Thermometer (18 Beob.)	τ_4	= 16,64°
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ	= 53,6 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	G_w	= 15,1 *g*

Wetter: Früh heiter, nachmittags wechselnde Bewölkung.

Wind: Früh leichter Ostwind, nachmittags leichter Nordwest.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Braunkohle, Nusskohle vom Guido-Schacht Brüx

Gewicht von 1 *hl* Brennstoff 63 *kg*

Preis von 1 *hl* Brennstoff mit Fracht 57 ₰.

2. Elementaranalyse.

C = 51,42 %
H = 4,58 %
O = 10,75 %
N = 2,57 %
S = 0,85 %
Grubenfeuchtigkeit = 6,30 } 26,04 %
Hygroskop. Wasser = 19,74 }
Asche = 3,79 %
Verkokungsrückstand, sandig = 40,2 %.

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth	H_t	= 4970 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth	H_c	= 4838 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand. Es wurde 22 Mal beschickt, jede Beschickung zu 48,4 *kg*.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer	Z	= 8,9 Std.
Brennstoffmenge: im Ganzen	$Z\,B$	= 1065,5 *kg*
stündlich	B	= 119,72 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R}$	= 99,77 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R}$	= 482687 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F}$	= 2,48 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F}$	= 11998 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O}$	= 10,80 *kg*

4. Herd-Rückstände.

Asche im Ganzen		= 10,5 *kg*
„ für 1 *kg* Brennstoff	μ_1	= 0,0099 „
Schlacke im Ganzen		= 35,5 „
„ für 1 *kg* Brennstoff	μ_2	= 0,0333 „
Asche u. Schlacke im Ganzen		= 46 „
„ „ für 1 *kg* Brennstoff	μ	= 0,0432 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche u. Schlacke	μ_0	= 0,2575 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	h_t	= 2060 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche, für 1 *kg* Brennstoff	μ_a	= 0,0321 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	μ_f	= 0,0058 „

5. Rauchgas-Analysen.

Durchschnitt aus 9 Einzelanalysen im Flammrohr	CO_2	= 14,55 %
	O	= 4,13 „
Durchschnitt aus 9 Einzelanalysen im Fuchs	CO_2	= 11,9 „
	O	= 6,17 „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff nach der Analyse	L_0	= 6,955 *kg*
„ Welter	L'_0	= 7,350 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	l_0	= 0,125 „

Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0$ = 7,225 *kg*
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr L = 9,21 „
im Fuchs L' = 11,20 „
Verhältniss d. zugeführten zu d. chemischen Luftmenge im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m'$ = 1,253
im Fuchs $\frac{L'}{L'_0} = m$ = 1,524
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff L_1 = 1,99 *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge m_0 = 0,271

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: „Kein Rauch“.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengas c_0 = 0,084 *g*
„ für 1 *kg* Brennstoff c = 0,65 „
Gewicht von 1 *cbm* Russ = 11,1 *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff = 0,000059 *cbm*
Verhältniss des Russvolumens zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur. = 0,00000306

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr für 1 *kg* Brennstoff G'_0 = 10,16 *kg*
„ „ „ stündlich G' = 1216,36 „
„ im Fuchs für 1 *kg* Brennstoff G_0 = 12,15 „
„ „ „ stündlich G = 1454,60 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (5 Beob.) t_3 = 1415°
„ (berech.). t'_3 = 1818°
Fuchstemperatur (108 Beob.) t_1 = 279,35°
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs c_p = 0,246
„ „ „ zugeführten Luft c'_p = 0,24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (36 Beob.) Wassersäule h = 6,61 *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten w = 0,954 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit c = 0,018 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen w_m = 1,077 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff Q'_l = 27,122 Cal.
Wärmemenge in der Beiluft Q'_b = 5,860 „

F. Speisung.

Das Speisewasser wurde dem auf der Werft befindlichen Hochreservoir entnommen. Zur Wassermessung diente ein cylindrisches Gefäss von 0,5 *m* l. W. mit Wasserstandglas. Die Speisung geschah durch den Körting'schen Universal-Injektor Nr. 8.

Das Speisen erfolgte 31 mal in zusammen 8 Stunden 31 Minuten.

Wasserstand im Kessel zu Anfang d. Versuchs Δ_1 = 40 *mm*
„ „ „ zu Ende „ Δ_2 = 40 „
Mittlerer Wasserstand im Kessel über dem Niedrigsten (10 Beob.) Δ = 44,2 „
Speisewassertemperatur im Mittel τ_0 = 18,6°
Speisewassermenge im Ganzen ΣS = 5422,6 *kg*
„ stündlich S = 609,28 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck p_b = 1,02 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck p_u = 6,41 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuchs p_1 = 6,7 „
„ „ Ende „ „ p_2 = 6,4 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck p_0 = 7,43 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (36 Beob.) $p' \cong 0$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel t_0 = 166,43°
„ „ des ausströmenden Dampfes (36 Beob.) t'_1 = 129,07°
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes t_u = 29,45°

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf λ_0 = 657,26 Cal.
„ d. ausströmenden Dampfes λ'_0 = 645,44 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0}$ = 18,6 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf λ_e = 626,68 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde Q_e = 3188 „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge S = 609,28 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F}$ = 12,61 „
„ „ „ 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B}$ = 5,09 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B}$ = 5,01 „
Stündl. Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O}$ = 54,91 „
„ „ „ 1 „ Rostfläche $\frac{S}{R}$ = 507,92 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit w_0 = 3,94 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F}$ = 7902 Cal.
Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_e}{F}$ = 11998 Cal.

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 2{,}4\,^0/_0$

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	$Q_r =$	69	Cal.
Verlust durch Bildung von CO	$Q_k \cong$	0	„
„ „ „ „ CH_4	$Q_m =$	0	„
„ „ „ „ Russ	$Q_c =$	5	„
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	$Q'_a =$	311	„
„ „ unvollständ. Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c =$	$Q_v =$	5	„
„ „ äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	466	„
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	$Q_a =$	777	„
Verlust durch die Beiluft	$Q_b =$	128	„
„ „ „ abziehenden Gase	$Q_f =$	779	„
Gesammtverlust	$Q_o =$	1650	„

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0^0	$H_c =$	4838	Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	4497,5	„

K. Wärmebilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	69	Cal.
„ „ unvollständ. Verbrennung	$Q_v =$	5	„
„ „ äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	311	„
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	3188	„
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	466	„
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	128	„
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	671	„
Summe	$= H_c =$	4838	Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	$\eta_0 =$	0,9816
„ der Verbrennung	$\eta'_0 =$	0,9989
„ „ Einhüllung der Feuerung	$\eta'_a =$	0,9344
„ „ direkten Heizfläche	$\eta'_2 =$	0

Wirkungsgrad der Feuerung	$\eta_1 =$	0,9162
„ „ indirekten Heizfläche	$\eta''_2 =$	0,7146
Maximalwirkungsgrad d. indirekt. Heizfläche	$\eta''_H =$	0,9232
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	$\eta''_a =$	0,8949
„ „ Dichtung gegen Beiluft	$\eta_b =$	0,9711
„ „ Gasabführung	$\eta_g =$	0,8486
„ des Kessels	$\eta_2 =$	0,7146
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,6589
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9295
Wirkungsgrad bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,7088

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0.521$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 1.81$ ℳ

Versuch VI. Siechenhaus, Dresden.

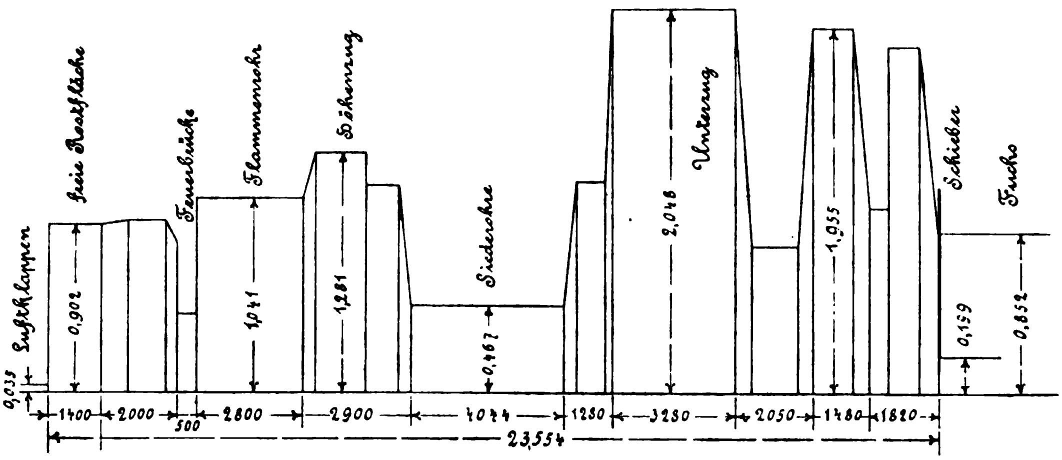
Kombinirter Dampfkessel, untersucht am 26. März 1890.
Leiter des Versuches: Lewicki.
Beobachter: Assist. Heberlein, Hille und Enders, Stud. Bierling und Grob, Werkmeister Kassara.
Feuerleute: Leckscheid und Motog.
Versuchszeit 8 Stunden 57 Minuten.

A. Kesselanlage. (Tafel V.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Kombinirter Wellrohr- und Röhrendampfkessel, erbaut von C. E. Rost & Co., Dresden, im Jahr 1887 für 7 *kg/qcm* Ueberdruck.

Der Kessel war vor dem Versuch gereinigt und nach



Versuch VI.

mehrwöchentlichem Stillstand am Tag vor dem Versuch angefeuert worden, in Folge dessen das Mauerwerk an der zugänglichen Seite merklich kühler war.

Am Versuchstag war er erst 2 Stunden vor dem Versuch angeheizt worden.

Lage des Kessels: Der Kessel war links angebaut.

Hauptkessel: Durchmesser	D	= 2000 *mm*
Länge	L	= 2580 „
Blechstärke	δ	= 17 „
Flammrohr, gewellt: Durchmesser	D_1	= 1100 bez. 1200 *mm*
Länge	L_1	= 2580 *mm*
Blechstärke	δ_1	= 11 „
Oberkessel: Durchmesser	D'	= 2000 „
Länge	L'	= 4000 „
Blechstärke	δ'	= 17 „
Feuerröhren: Anzahl (inkl. 18 Ankerrohre)	i_0	= 78 Stück
Durchmesser	d	= 88 *mm*
Länge	l	= 4000 „
Wandstärke	δ''	= 3,5 bez. 5 *mm*
Heizfläche: Gesammte Heizfläche	F	= 124,1 *qm*
Wasserraum beim Versuch	V_1	= 13,186 *cbm*
Dampfraum „ „	V_2	= 3,548 „
Gesammtraum	V	= 16,734 „
Verhältniss	$\frac{V_2}{V_1}$	= 0,269
„	$\frac{V_1}{V}$	= 0,788
„	$\frac{V_2}{V}$	= 0,206
Wasserspiegelfläche beim Versuch	O	= 7,28 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$\frac{O}{F}$	= 0,0587
Wasserstandsgläser: Anzahl	i_1	= 1 Stück
Sicherheitsventile: Anzahl	i_2	= 2 „
„ Durchmesser	d_1	= 80 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	h	= 1500 „
Dampfabblaserohr: Durchmesser	d_3	= 80 „
„ Länge	l_5	= 5130 „
Ausblaserohrmündung: Durchm.	d_5	= 85 „
Ventilerhebung beim Versuch	h_2	= 2,5 „

2. Feuerung.

System: Vorfeuerung mit schrägem Rost, Patent C. E. Rost & Co., Dresden.

Rost: Roststabdicke	s	= 12 *mm*
Roststabhöhe	h	= 97 „
Roststablänge	a	= 430 „
Rostspaltenweite	s_0	= 22 „
Rostbreite	b	= 1920 „
Rostlänge	l	= 1400 „
Gesammte Rostfläche	R	= 2,688 *qm*
Freie „	R_0	= 0,902 „
Verhältniss	$\frac{R_0}{R}$	= 0,336
„	$\frac{R}{F}$	= 0,0217
„	$\frac{R}{O}$	= 0,369

3. Zugführung.

a) Primäre Luftzuführung.

Querschnitt vor dem Rost	f_1	= 3,588 *qm*
„ der freien Rostfläche	R_0	= 0,902 „
„ über der Feuerbrücke	f_2	= 0,442 „
„ der engsten Rohrstelle	f_3	= 0,467 „
„ des ganzen Fuchses	f_4	= 0,852 „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5	= 1,136 „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (37 Beob.)	f	= 0,199 „
Verhältniss	$\frac{f}{R}$	= 0,0740
„	$\frac{f_1}{R}$	= 1,335
„	$\frac{R_0}{R}$	= 0,336
„	$\frac{f_2}{R}$	= 0,164
„	$\frac{f_3}{R}$	= 0,174
„	$\frac{f_4}{R}$	= 0,317
„	$\frac{f_5}{R}$	= 0,423

b) Sekundäre Luftzuführung.

Querschnitt für die sekundäre Luftzuführung	f'_0	= 0,0351 *qm*
Verhältniss	$\frac{f'_0}{R}$	= 0,0131 „

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beob.)	b	= 749,5 *mm*
Atmosphärischer Druck	p_b	= 1,019 *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen (9. Beob.)	τ_1	= 14,14°
„ „ „ Innen (3. Beob.)	τ_2	= 22,4°
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer (18 Beob.)	τ_3	= 18,96°
Psychrometer: Trockenes Thermometer (18 Beob.)	τ_4	= 25,49°
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ	= 62 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	G_w	= 6,6 *g*

Wetter: Veränderlich.
Wind: Leichter Nordwestwind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Braunkohle, Nusskohle II vom Schacht „Vertrau auf Gott" des Kohlenwerkes Dux.

Gewicht für 1 *hl* Brennstoff	= 63,3 *kg*
Preis für 1 *hl* Brennstoff mit Fracht bis auf den Hof	= 40,3 *Pfg.*

2. Elementaranalyse.

C	$= 43{,}60\ \%$
H	$= 4{,}09$ „
O	$= 13{,}71$ „
N	$= 1{,}82$ „
S	$= 1{,}74$ „
Grubenfeuchtigkeit	$= 16{,}09$ „
Hygrosk. Wasser	$= 11{,}83$ „
Asche	$= 7{,}12$ „
Verkokungsrückstand, sandig	$= 43{,}5$ „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth $H_t = 4097$ Cal.
Calorimetrischer Heizwerth $H_c = 3922$ „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte mit einem Fülltrichter, welcher durch einen Kohlenwagen beschickt wurde. 28 Wagen zu je 150 *kg* in Pausen von ungefähr 19 Minuten.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer des Versuches $Z = 8{,}95$ Stunden
Brennstoffmenge: Im Ganzen $ZB = 4206{,}5$ *kg*
stündlich $B = 470$ „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung $\frac{B}{R} = 174{,}851$ *kg*

Rostanstrengung $\frac{BH_c}{R} = 685766$ Cal.

Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} = 3{,}787$ *kg*

Heizflächenanstrengung $\frac{BH_c}{F} = 14853$ Cal.

Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{B}{O} = 6{,}456$ *kg*.

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen $= 108{,}6$ *kg*
„ für 1 *kg* Brennstoff $\mu_1 = 0{,}0258$ „
Schlacke: Im Ganzen $= 259{,}1$ „
„ für 1 *kg* Brennstoff $\mu_2 = 0{,}0616$ „
Asche und Schlacke: Im Ganzen $= 367{,}7$ „
„ „ „ für 1 *kg* Brennstoff $\mu = 0{,}0874$ „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche u. Schlacke $\mu_0 = 0$
Theoretischer Heizwerth der Asche u. Schlacke $h_t = 0$
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_a = 0{,}0874$ *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_f = -0{,}0162$ „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 20 Einzelanalysen im Flammrohr $CO_2 = 13{,}8\ \%$
$O = -$

Durchschnitt aus 12 Einzelanalysen im Fuchs $CO_2 = 13{,}0$ „
$O = -$

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Nach der Analyse $L_0 = 5{,}816$ *kg*
nach Welter $L'_0 = 6{,}045$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0$
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 6{,}045$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Im Flammrohr $L = 8{,}06$ „
im Fuchs $L' = 8{,}54$ „
Verhältniss d. zugeführten zu d. chemischen Luftmenge: Im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 1{,}333$

im Fuchs $\frac{L'}{L'_0} = m = 1{,}413$

In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $L_1 = 0{,}48$ *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge $m_0 = 0{,}0794$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Zuweilen ganz leichter Rauch.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase $c_0 = 0{,}31$ *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff $c = 2{,}11$ „
Gewicht von 1 *cbm* Russ $= 11{,}1$ *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff $= 0{,}00019$ *cbm*
Verhältniss des Russvolumens zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur $= 0{,}0000127$

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr: Für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 8{,}97$ *kg*
„ „ „ stündlich $G' = 4215{,}90$ „
Gasmenge im Fuchs: Für 1 *kg* Brennstoff $G_0 = 9{,}45$ „
„ „ „ stündlich $G = 4441{,}50$ „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (6 Beob.) $t_3 = 1671^0$
„ (berech.) $t'_3 = 1680^0$
Fuchstemperatur (109 Beob.) $t_1 = 277{,}6^0$
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0{,}246$
„ „ „ zugeführten Luft $c'_p = 0{,}24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (37 Beobachtungen) $h = 10{,}63$ *mm* Wassersäule
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 0{,}976$ *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0{,}0364$ *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen $w_m = 2{,}094$ *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 27$ Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_b = 2$ „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus der städtischen Leitung entnommen.

Die Förderung erfolgte durch eine Hülsenberg'sche Dampfpumpe, welche ihren Dampf von den gleichzeitig in Betrieb befindlichen 2 Kesseln gleicher Bauart erhielt.

Es wurden jedesmal 200 *kg* Wasser abgewogen und in eine Holzwanne abgelassen, aus welcher die Pumpe saugte.

Das Speisen erfolgte 7 mal in zumsammen 6 Stunden 53 Minuten.

Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:		
Zu Anfang des Versuches	Δ_1	$= 66$ *mm*
„ Ende „ „	Δ_2	$= 66$ „
Speisewassertremperatur im Mittel (18 Beob.)	τ_0	$= 6{,}93^0$
Speisewassermenge: Im Ganzen	ZS	$= 17433$ *kg*
Stündlich	S	$= 1947{,}82$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck	p_b	$= 1{,}019$ *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Druckschreiber	p_u	$= 6{,}26$ „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	p_1	$= 6{,}2$ „
„ „ Ende „ „	p_2	$= 6{,}4$ „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0	$= 7{,}279$ „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (37 Beobachtungen)	p'	$= 0{,}00966$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	t_0	$= 165{,}60^0$
„ „ des ausströmenden Dampfes (37 Beobachtungen)	t'_1	$= 134{,}92^0$
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u	$= 35{,}755^0$

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf	λ_0	$= 657{,}01$ Cal.
„ des ausströmenden Dampfes	λ'_0	$= 649{,}86$ „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	q	$= 6{,}93$ „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e	$= 642{,}81$ „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e	$= 2664$ „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge	S	$= 1947{,}82$ *kg*
Stündl. Dampfmenge auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$	$= 15{,}696$ „
„ „ „ 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$	$= 4{,}144$ „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bez. auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$	$= 4{,}185$ „

Stündl. Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O}$	$= 267{,}557$ *kg*
„ „ „ 1 „ Rostfläche	$\frac{S}{R}$	$= 724{,}635$ „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	w_o	$= 19{,}6$ *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche:		
Stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F}$	$= 10090$ Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F}$	$= 14853$ „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 1{,}5\,\%$.

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	Q_r	$= 0$ Cal.
Verlust durch Bildung von CO	Q_k	$= 0$ „
„ „ „ „ CH_4	Q_m	$= 0$ „
„ „ „ „ Russ	Q_c	$= 17$ „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	Q'_a	$= 250$ „
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_v =$	Q_c	$= 17$ „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	Q''_a	$= 375$ „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	Q_a	$= 625$ „
Verlust durch die Beiluft	Q_b	$= 30$ „
„ „ „ abziehenden Gase	Q_f	$= 616$ „
Gesammtverlust	Q_o	$= 1258$ „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0^0	H_c	$= 3922$ Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	Q_d	$= 3638$ „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	Q_r	$= 0$ Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	Q_v	$= 17$ „
„ „ äussere Abkühlung der Feuerung	Q'_a	$= 250$ „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	Q_e	$= 2664$ „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	Q''_a	$= 375$ „
„ „ innere „ „ „	Q_b	$= 30$ „
„ „ die Abzugsgase	Q_g	$= 586$ „
Summe $=$	H_c	$= 3922$ Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes:	η_0	$= 1$
„ der Verbrennung	η'_0	$= 0{,}9957$
„ „ Einhüllung der Feuerung	η'_a	$= 0{,}9336$
„ „ direkten Heizfläche	η'_2	$= 0$
„ „ Feuerung	η_1	$= 0{,}9295$
„ „ indirekten Heizfläche	η''_2	$= 0{,}7282$
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_{II}	$= 0{,}9220$
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	η''_a	$= 0{,}8971$
„ „ Dichtung gegen Beiluft	η_b	$= 0{,}9918$
„ „ Gasabführung	η_g	$= 0{,}8393$

Wirkungsgrad des Kessels $\eta_2 = 0{,}7282$

„ der Kesselanlage $\eta = 0{,}6792$

Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage $\eta_{max} = 0{,}9280$

Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge $\eta_d = 0{,}7323$

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnutzung des Brennstoffes $K = 0{,}497$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 1{,}521$ Mk.

Versuch VII und VIII.
Maschinen-Reparatur-Werkstatt zu Chemnitz.

Cornwallkessel mit Vorfeuerung, untersucht am 9. und 10. April 1890.

Leiter: Lewicki.

Beobachter: Assist. Enders und Hille, Stud. Hermsdorf, Blankmeister und Donath.

Feuermann: Zwintscher.

Versuchszeit: Versuch VII = 9 Stunden 2 Minuten.

„ VIII = 8 „ 56 „

Heizfläche: Gesammte Heizfläche $F = 30{,}4$ *qm*

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Wasserraum beim Versuch	$V_1 =$	7,821 *cbm*	7,771 *cbm*
Dampfraum „ „	$V_2 =$	2,809 „	2,859 „
Gesammtraum	$V =$	10,630 „	10,630 „
Verhältniss	$\frac{V_2}{V_1} =$	0,359	0,368
„	$\frac{V_1}{V} =$	0,736	0,731
„	$\frac{V_2}{V} =$	0,264	0,269
Wasserspiegelfläche beim Versuch	$O =$	8,945 *qm*	8,976 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$\frac{O}{F} =$	0,294	0,295

Wasserstandsgläser: Anzahl $i_1 = 1$ Stück

Sicherheitsventile: „ $i_2 = 2$ „

Durchmesser $d_1 = 120$ *mm*

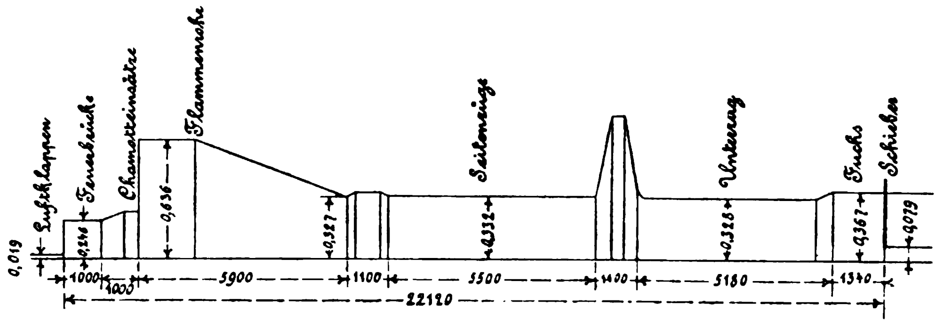
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel $h = 760$ „

Dampfabblaserohr: Durchmesser $d_3 = 80$ „

Länge $l_5 = 5450$ „

Ausblaserohrmündung: Durchmesser $d_5 = 85$ „

Ventilerhebung beim Versuch $h_2 = 5$ *mm* 2,3 *mm*



Versuch VII und VIII.

A. Kesselanlage. (Tafel VI.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cornwallkessel mit einem Flammrohr, erbaut von L. Radoux, Hörde, im Jahr 1870 für 1 *kg/qcm* Ueberdruck, konzessionirt vom 15. Nov. 1887 an für 1,5 *kg/qcm* Ueberdruck, mit Vorfeuerung eingerichtet worden von der Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft vormals Klett & Co., Nürnberg, im Jahre 1881.

Der Kessel dient zum Betrieb der Dampfheizung.

Letzte Kesselreinigung am 16. Februar 1890.

Der nebenliegende Cornwallkessel mit Planrost war in Betrieb.

Lage des Kessels: Der Kessel war rechts angebaut.

Hauptkessel: Durchmesser $D = 1700$ *mm*

Länge $L = 6200$ „

Blechstärke $\delta = 9$ „

Flammrohr: Anzahl $i = 1$ Stück

Durchmesser $D_1 = 900$ *mm*

Länge $L_1 = 6300$ „

Blechstärke $\delta_1 = 9$ „

2. Feuerung.

System: Vorfeuerung mit schrägem Rost von der Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft vormals Klette & Co., Nürnberg.

Rost: Roststabdicke $s = 13$ *mm*

Roststabhöhe $h = 128$ „

Roststablänge $a = 1000$ „

Rostspaltenweite $s_0 = 20$ „

Rostbreite $b = 800$ „

Rostlänge $l = 1000$ „

Gesammte Rostfläche $R = 0{,}8$ *qm*

Freie „ $R_0 = 0{,}192$ „

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0{,}240$

„ $\frac{R}{F} = 0{,}0273$

„ $\frac{R}{O} = 0{,}0904$ 0,0891.

3. Zugführung.

a) Primäre Luftzuführung.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Querschnitt der Klappenöffnung: Anzahl der Beob.	=	19	23
	$f_0 =$	0,180 *qm*	0,179 *qm*

Querschnitt vor dem Rost $f_1 = 0{,}832$ *qm*
„ der freien Rostfläche $R_0 = 0{,}192$ „
„ über der Feuerbrücke $f_2 = 0{,}248$ „
„ der engsten Rohrstelle $f_3 = 0{,}327$ „
„ des ganzen Fuchses $f_4 = 0{,}367$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung $f_5 = 0{,}377$ „

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch: Anzahl der Beob.	=	40	48
	$f =$	0,0790 *qm*	0,0795 *qm*
Verhältniss	$\frac{f_0}{R} =$	0,225	0,224
„	$\frac{f}{R} =$	0,0988	0,0994

„ $\frac{f_1}{R} = 1{,}400$
„ $\frac{R_0}{R} = 0{,}240$
„ $\frac{f_2}{R} = 0{,}310$
„ $\frac{f_3}{R} = 0{,}409$
„ $\frac{f_4}{R} = 0{,}459$
„ $\frac{f_5}{R} = 0{,}471$

b) Sekundäre Luftzuführung.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Querschnitt für die sekundäre Luftzuführung: Anzahl der Beobachtungen	=	19	6
	$f'_0 =$	0,019 *qm*	0,0168 *qm*
Verhältniss	$\frac{f'_0}{R} =$	0,0238	0,0210

B. Aeussere Zustände.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Barometerstand (11 Beob.)	$b =$	723,4 *mm*	725,6 *mm*
Atmosphärischer Druck	$p_b =$	0,984 *kg/qcm*	0,987 *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen (11 Beob.)	$\tau_1 =$	12,7°	8,9°
Innen (11 Beob.)	$\tau_2 =$	17,1°	14,8°
Psychrometer: Anzahl der Beob.	=	19	18
Befeuchtetes Thermometer	$\tau_3 =$	8,57°	6,58°
Trockenes „	$\tau_4 =$	12,6°	10,05°
Luftfeuchtigkeitsgrad	$\varphi =$	67,3 %	69,4 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	$G_w =$	6,1 *g*	6,2 *g*

Wetter: An beiden Versuchstagen früh veränderlich, nachmittags aufklärend, schwacher N. W. Wind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart:

Für Versuch VII: Steinkohle aus dem Schaderschacht in Zwickau in Nussgrösse.

Gewicht für 1 *hl* Steinkohle = 72,38 *kg*
Preis „ 100 *kg* „ = 1,23 ℳ
Fracht „ 100 „ „ = 0,22 „

Für Versuch VIII: $^2/_3$ Gewichtstheile Steinkohle und $^1/_3$ Braunkohle. Steinkohle wie vorher, Braunkohle von der Carlzeche in Komotau.

Gewicht für 1 *hl* Braunkohle = 67,4 *kg*
Preis „ 100 *kg* „ = 0,335 ℳ
Fracht „ 100 „ „ = 0,270 „

2. Elementaranalysen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
C	=	66,87 %	57,96 %
H	=	5,10 „	4,53 „
O	=	6,36 „	7,82 „
N	=	2,27 „	2,24 „
S	=	1,30 „	1,68 „
Grubenfeuchtigkeit	=	2,40 „	7,50 „
Hygrosk. Wasser	=	5,78 „	9,18 „
Asche	=	9,92 „	9,09 „
Verkokungsrückstand, zusammengebacken	=	61,9 „	55,2 „

3. Heizwerthe.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Theoretischer Heizwerth	$H_t =$	6647 Cal.	5667 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth	$H_c =$	6551 „	5640 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte mit einem Fülltrichter, welcher durch Körbe beschickt wurde, je ein Korb zu 50 *kg* Inhalt in ungefähr 29 Minuten am ersten, und in annähernd 23,7 Minuten am zweiten Versuchstage.

2. Brennstoffmenge.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Zeitdauer des Versuches:	$Z =$	9,033 Stund.	8,933 Stund.
Brennstoffmenge: Im Ganzen	$ZB =$	934,5 *kg*	1128,3 *kg*
Stündlich	$B =$	103,5 „	126,3 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Rostbelastung	$\frac{B}{R} =$	129,38 *kg*	157,87 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} =$	847 535 Cal.	890 415 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} =$	3,405 *kg*	4,155 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} =$	22 304 Cal.	23 432 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} =$	11,571 *kg*	14,071 *kg*

4. Herdrückstände.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Asche und Schlacke:			
Im Ganzen	=	120,41 *kg*	132,59 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	μ =	0,1288 „	0,1175 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	μ_o =	0,2516 „	0,1960 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	h_t =	2013 Cal.	1568 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	μ_a =	0,0964 *kg*	0,0945 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	μ_f =	0,0028 „	— 0,0036 „

5. Rauchgasanalysen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Flammrohr: Anzahl	=	8	—
	CO_2 =	12,5 %	—
	O =	5,4 „	—
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Fuchs: Anzahl	=	6	—
	CO_2 =	12,4 %	—
	O =	5,7 „	—
Durchschnitt, während der Dauer des Versuchs entnommen und nach 12 Stunden analysirt:			
Im Flammrohr	CO_2 =	—	8,9 %
	O =	—	8,6 „
Im Fuchs	CO_2 =	—	8,6 „
	O =	—	8,1 „

6. Luftmengen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:			
Nach der Analyse	L_0 =	9,086 *kg*	7,838 *kg*
„ Welter	L'_0 =	9,637 „	8,389 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	l_0 =	0,363 „	0,258 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0$ =	9,274 „	8,131 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:			
Im Flammrohr	L =	13,96 „	16,99 „
Im Fuchs	L' =	14,07 „	17,57 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge: Im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m'$ =	1,449	2,025
Im Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m$ =	1,460	2,094
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	L_1 =	0,11 *kg*	0,58 *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	m_0 =	0,0114	0,0691

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Versuch VII: Leichter Rauch.
„ VIII: Schwärzlicher Rauch.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase	c_0 =	0,67 *g*	0,70 *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff	c =	7,46 „	9,67 „
Gewicht von 1 *cbm* Russ	=	11,1 *kg*	11,1 *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff	=	0,00067 *cbm*	0,00087 *cbm*
Verhältniss der Russvolumen zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur	=	0,0000233	0,0000245

8. Gasmengen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Gasmenge im Flammrohr:			
Für 1 *kg* Brennstoff	G'_0 =	14,83 *kg*	17,87 *kg*
Stündlich	G' =	1534,91 „	2256,98 „
Gasmenge im Fuchs:			
Für 1 *kg* Brennstoff	G_0 =	14,94 „	18,45 „
Stündlich	G =	1546,29 „	2330,24 „

8. Temperaturen bei der Verbrennung.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Gluthtemperatur: Anzahl der Beobachtungen	=	8	9
	t_3 =	1895°	1906°
(berech.)	t'_3 =	1696°	1185°
Fuchstemperatur: Anzahl der Beob.	=	107	106
	t_1 =	373,5°	375,7°
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs	c_p =	0,246	0,246
Spezifische Wärme der zugeführten Luft	c'_p =	0,24	0,24

E. Zugwirkung.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Zugstärke vor dem Schieber:			
Anzahl der Beob.	=	40	46
Wassersäule	h =	6,7 *mm*	5,74 *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	w =	1,717 *m*	2,529 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	c =	0,0242 *mm*	0,0334 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit in den Zügen	w_m =	2,535 *m*	3,243 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_l =	43 Cal.	36 Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_b =	0,34 „	1,24 „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus der städtischen Leitung entnommen. Die Förderung erfolgte durch einem Körting-schen Injektor. Das Speisewasser wurde in einem Reservoir von 1 *qm* Grundfläche und 0,5 *m* Höhe durch die Differenzen der Wasserhöhen, bei einer jedesmaligen Speisung, in letzterem gemessen.

Das Speisen erfolgte beim 1. Versuch 15 mal circa 23 Minuten lang in Pausen von ungefähr 13 Minuten; beim 2. Versuch 14 mal circa 23,6 Minuten lang in Pausen von ungefähr 15,5 Minuten.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:		
Zu Anfang des Versuches $\Delta_1 =$	88,4 *mm*	86,8 *mm*
„ Ende „ „ $\Delta_2 =$	88,4 „	86,8 „
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten: Anzahl der Beob. =	10	10
$\Delta =$	96,0 *mm*	90,1 *mm*
Speisewassertemperatur im Mittel: Anzahl der Beob. =	13	14
$\tau_0 =$	8,5°	8,5°
Speisewassermenge: Im Ganzen $ZS =$	6049 *kg*	6037 *kg*
Stündlich $S =$	669,6 „	675,8 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosslung.

2. Dampfdrücke.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Atmosphärischer Druck $p_b =$	0,984 *kg/qcm*	0,987 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Druckschreiber $p_u =$	1,33 „	1,29 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches $p_1 =$	1,17 „	1,45 „
Dampfdruck zu Ende des Versuches $p_2 =$	1,34 „	1,35 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 =$	2,314 „	2,277 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beobachtungen =	37	37
$p' =$	0,00219 „	0,00131 „

3. Dampftemperaturen.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel: $t_0 =$	124,21°	123,69°
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beobachtungen	37	37
$t'_1 =$	107,56°	108,91°
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u =$	8,87°	10,16°

4. Wärmemengen.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 =$	644,38 Cal.	644,23 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 =$	640,33 „	640,73 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0} =$	8,5 „	8,5 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e =$	631,80 Cal.	632,20 Cal.
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e =$	4088 „	3383 „

5. Dampfmengen.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Stündliche Dampfmenge $S =$	669,6 *kg*	675,8 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} =$	22,026 „	22,230 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} =$	6,470 „	5,351 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} =$	6,418 „	5,311 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} =$	74,857 „	75,290 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche $\frac{S}{R} =$	837,00 „	844,75 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 =$	16,1 *mm*	16,4 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} =$	13916 Cal.	14054 Cal.
Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_c}{F} =$	22304 Cal.	23432 Cal.

6. Wassergehalt des Dampfes.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong$	0,8 %	0,7 %

H. Wärmeverluste.

	Vers. VII.	Vers. VIII.
Rostverlust $Q_r =$	259 Cal.	184 Cal.
Verlust durch Bildung von CO $Q_k =$	0 „	0 „
„ „ „ von CH_4 $Q_m =$	0 „	0 „
„ „ „ „ Russ $Q_c =$	60 „	78 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes $Q'_a =$	326 „	132 „
„ durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c = Q_v =$	60 „	78 „
„ durch äussere Abkühlung des Kessels $Q''_a =$	488 „	199 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung $Q_a =$	814 „	331 „
Verlust durch die Beiluft $Q_b =$	10 „	51 „
„ „ „ abziehenden Gase $Q_f =$	1330 „	1664 „
Gesammtverlust $Q_o =$	2463 „	2257 „

I. Disponible Wärmemengen.

		Vers. VII.	Vers. VIII.
Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	6551 Cal.	5640 Cal.
Wärmemengen welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	6229 „	5357 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	259 Cal.	184 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	60 „	78 „
Verlust durch äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	326 „	132 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	4088 „	3383 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	488 „	199 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	10 „	51 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1320 „	1613 „
Summe =	$H_c =$	6551 Cal.	5640 Cal.

M. Kriterium.

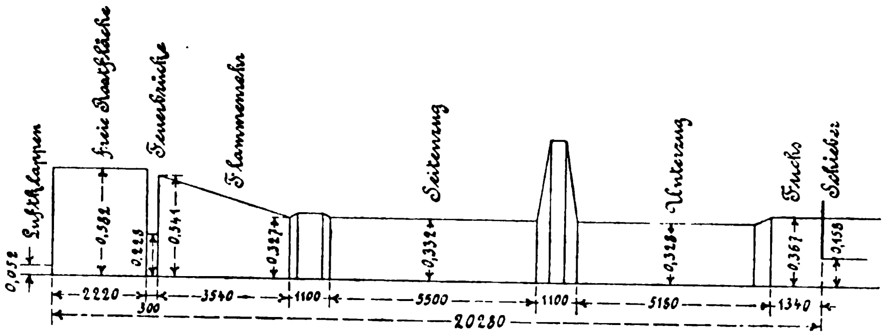
		Vers. VII.	Vers. VIII.
Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes	$K =$	0,335	0,237

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P =$	2,259 Mk.	2,200 Mk.

Versuch IX. Werkstatt Chemnitz.

Cornwallkessel, untersucht am 11. April 1890.
Leiter des Versuches: Lewicki.
Beobachter: Assist. Hille, Enders, Stud. Hermsdorf, Blankmeister und Donath.
Feuermann: Zwintscher.
Versuchszeit: 8 Stunden 35 Minuten.



Versuch IX.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	$\eta_0 =$	0,9604	0,9673
„ der Verbrennung	$\eta'_0 =$	0,9905	0,9855
„ der Einhüllung der Feuerung	$\eta'_a =$	0,9477	0,9763
Wirkungsgrad der direkten Heizfläche	$\eta'_2 =$	0	0
Wirkungsgrad der Feuerung	$\eta_1 =$	0,9015	0,9307
„ „ indirekten Heizfläche	$\eta''_2 =$	0,6922	0,6451
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	$\eta''_{II} =$	0,9455	0,9461
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	$\eta''_a =$	0,9174	0,9621
Wirkungsgrad der Dichtung gegen Beiluft	$\eta_b =$	0,9983	0,9903
Wirkungsgrad der Gasabführung	$\eta_g =$	0,7765	0,6927
Wirkungsgrad des Kessels	$\eta_2 =$	0,6922	0,6451
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,6240	0,5998
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9508	0,9498
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,6563	0,6315

A. Kesselanlage. (Tafel VII.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cornwallkessel mit Planrost, erbaut von L. Radoux, Hörde, im Jahre 1870, für 1,5 *kg/qcm* Ueberdruck; konzessionirt vom 19. Sept. 1887 ab.

Letzte Kesselreinigung am 16. Febr. 1890. Der Nebenkessel links war ausser Betrieb; beide Kessel vorher jedoch in dauerndem Betrieb gewesen. Die Kessel dienen zum Betrieb der Dampfheizung in der Lokomotivwerkstatt I, der Lackirerei und der Personenwagen-Reparaturwerkstatt.

Lage des Kessels: Der Kessel lag rechts im Kesselhaus und war links angebaut.

Hauptkessel:	Durchmesser	$D =$	1700 *mm*
	Länge	$L =$	6200 „
	Blechstärke	$\delta =$	9 „
Flammrohr:	Durchmesser	$D_1 =$	900/645 *mm*
	Länge	$L_1 =$	6220 *mm*
	Blechstärke	$\delta_1 =$	9 „
Heizfläche:	Direkte Heizfläche	$F_1 =$	3,74 *qm*
	Indirekte „	$F_2 =$	24,46 „
	Gesammte „	$F =$	28,2 „
Wasserraum beim Versuch		$V_1 =$	8,152 *cbm*

Dampfraum beim Versuch	V_2	= 2,986 *cbm*
Gesammtraum „ „	V	= 11,138 „
Verhältniss	$V_2 : V_1$	= 0,366
„	$V_1 : V$	= 0,732
„	$V_2 : V$	= 0,268
Wasserspiegelfläche beim Versuch	O	= 9,681 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$O : F$	= 0,343
Wasserstandsgläser: Anzahl	i_1	= 1 Stück
Sicherheitsventile: Anzahl	i_2	= 2 „
Durchmesser	d_1	= 120 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	h	= 760 „
Dampfabblaserohr: Durchmesser	d_3	= 80 „
Länge	l_5	= 8900 „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser	d_5	= 85 „
Ventilerhebung beim Versuch im Mittel	h_2	= 3,84 „

2. Feuerung.

System: Innenfeuerung mit horizontalem Planrost.

Rost: Roststabdicke	s	= 7 *mm*
Roststabhöhe	h	= 100 „
Roststablänge	a	= 520 „
Rostspaltenweite	s_0	= 10,9 „
Rostbreite	b	= 900 „
Rostlänge	l	= 2220 „
Gesammte Rostfläche	R	= 2,052 *qm*
Freie Rostfläche	R_0	= 0,582 „
Verhältniss	$\frac{R_0}{R}$	= 0,284
„	$\frac{R}{F}$	= 0,073
„	$\frac{R}{O}$	= 0,212

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen	f_0	= 0,052 *qm*
„ vor dem Rost	f_1	= 0,167 „
„ der freien Rostfläche	R_0	= 0,582 „
„ über der Feuerbrücke	f_2	= 0,228 „
„ der engsten Rohrstelle	f_3	= 0,327 „
„ des ganzen Fuchses	f_4	= 0,367 „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5	= 0,404 „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (39 Beobachtungen)	f	= 0,158 „
Verhältniss	$\frac{f}{R}$	= 0,077
„	$\frac{f_0}{R}$	= 0,025
„	$\frac{f_1}{R}$	= 0,081
„	$\frac{R_0}{R}$	= 0,284
„	$\frac{f_2}{R}$	= 0,111

Verhältniss	$\frac{f_3}{R}$	= 0,159
„	$\frac{f_4}{R}$	= 0,179
„	$\frac{f_5}{R}$	= 0,197

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (17 Beobachtungen)	b	= 727,93 *mm*
Atmosphärischer Druck	p_b	= 0,989 *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen	τ_1	= 10,94°
im Kesselhaus (9 Beobachtungen)	τ_2	= 13,54°
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer (17 Beobachtungen)	τ_3	= 6,26°
„ Trockenes Thermometer (17 Beobachtungen)	τ_4	= 10,48°
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ	= 43 %
Wassergehalt in *cbm* Luft	G_w	= 4,4 *g*

Wetter: Himmel bewölkt, zeitweise Sonnenschein, kein Regen. Wind: Schwacher W. N. W., dann Nordwestwind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Steinkohle aus dem Schaderschacht bei Zwickau.

Preis von 100 *kg* Brennstoff mit Fracht 1,45 ℳ
„ „ 100 „ „ ohne „ 1,23 „

2. Elementaranalyse.

C	= 66,72 %	
H	= 5,08 „	
O	= 6,41 „	
N	= 2,24 „	
S	= 1,27 „	
Grubenfeuchtigkeit	= 2,60 „	8,45 %
Hygroskop. Wasser	= 5,85 „	
Asche	= 9,83 „	
Verkokungsrückstand, zusammengebacken	= 61,7 „	

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth	H_t	= 6626 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth	H_c	= 6421 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand und zwar so, dass abwechselnd nur auf die rechte Seite oder nur auf die linke Seite des Rostes geworfen wurde. Es wurde 77 mal beschickt, jede Beschickung zu ungefähr 13,5 *kg*.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer	Z	= 8,58 Std.
Brennstoffmenge: Im Ganzen	ZB	= 1038,67 *kg*
Stündlich	B	= 121,01 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung $\frac{B}{R} = 58{,}971$ *kg*

Rostanstrengung $\frac{BH_c}{R} = 378646$ Cal.

Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} = 4{,}291$ *kg*

Heizflächenanstrengung $\frac{BH_c}{F} = 27553$ Cal.

Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{B}{O} = 12{,}500$ *kg*

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke: Im Ganzen $= 112{,}28$ *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu = 0{,}108$ „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke $\mu_o = 0{,}096$ „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke $h_t = 880$ Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_a = 0{,}110$ *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_f = 0{,}002$ „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 6 Einzelanalysen im Flammrohr $CO_2 = 6{,}1$ %
$O = 12{,}2$ „
Durchschnitt aus 5 Einzelanalysen im Fuchs $CO_2 = 7{,}0$ „
$O = 12{,}0$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Nach der Analyse $L_0 = 9{,}059$ *kg*
„ Welter $L'_0 = 9{,}457$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brenntstoff $l_0 = 0{,}133$ „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 9{,}324$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Im Flammrohr $L = 21{,}46$ „
Im Fuchs $L' = 24{,}18$ „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge:

Im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 2{,}269$

Im Fuchs $\frac{L'}{L'_0} = m = 2{,}557$

In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $L_1 = 2{,}72$ *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge $m_0 = 0{,}287$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Sehr starker Rauch.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase $c_0 = 0{,}80$ *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff $c = 15{,}2$ „
Gewicht von 1 *cbm* Russ $= 11{,}1$ *kg*

Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff $= 0{,}00137$ *cbm*
Verhältniss des Russvolumens zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur $= 0{,}0000302$

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr:
Für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 22{,}34$ *kg*
Stündlich $G' = 2703{,}36$ „
Gasmenge im Fuchs:
Für 1 *kg* Brennstoff $G_0 = 25{,}07$ „
Stündlich $G = 3033{,}72$ „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (4 Beobachtungen) $t_3 = 1524^0$
(berechnet) $t'_3 = 1017{,}8^0$
Fuchstemperatur (103 Beobachtungen) $t_1 = 338{,}5^0$
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0{,}246$
„ „ „ zugeführten Luft $c'_p = 0{,}24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (41 Beob.) Wassersäule $h = 9{,}07$ *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 1{,}418$ *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0{,}01198$ *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen $w_m = 1{,}949$ *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 56{,}35$ Cal.
Wärmemenge in der Beiluft $Q'_b = 7{,}14$ „

F. Speisung.

Das Speisewasser wurde aus der städtischen Leitung durch einen Schlauch in ein Reservoir geleitet. Die Speisung erfolgte durch einen Körting'schen Injektor 16 mal in zusammen 8 Stunden 15 Minuten.

Wasserstand im Kessel zu Anfang des Versuches $\Delta_1 = 105$ *mm*
Wasserstand im Kessel zu Ende des Versuches $\Delta_2 = 105$ „
Wasserst. im Kessel über dem Niedrigsten (10 Beobachtungen) $\Delta = 95{,}5$ „
Speisewassertemperatur im Mittel (16 Beobachtungen) $\tau_0 = 8{,}53^0$
Speisewassermenge: Im Ganzen $ZS = 5870$ *kg*
Stündlich $S = 683{,}88$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck $p_b = 0{,}989$ *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Manometer $p_u = 1{,}12$ „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches $p_1 = 1{,}31$ „
„ „ Ende „ „ $p_2 = 1{,}46$ „
Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 = 2{,}11$ „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (52 Beobachtungen) $p' = 0{,}00183$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel $t_0 = 122{,}3^0$

„ „ des ausströmenden Dampfes (52 Beobachtungen) $t'_1 = 107{,}96^0$

„ Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u = 9{,}12^0$

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme von 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 =$ 643,8 Cal.

„ des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 =$ 641,139 „

Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{w0} =$ 8,534 „

Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e =$ 632,58 „

Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e = 3574$ „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge $S =$ 683,88 *kg*

„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} =$ 24,25 „

„ „ für 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} =$ 5,65 „

Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bez. auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} =$ 5,61 „

Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} =$ 70,64 „

„ „ „ 1 „ Rostfläche $\frac{S}{R} =$ 333,27 „

Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 =$ 16,5 *mm*

Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} =$ 15340 Cal.

Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_c}{F} =$ 27553 „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 0{,}7\ \%$

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	$Q_r =$	95 Cal.
Verlust durch Bildung von CO	$Q_k =$	0 „
„ „ „ „ CH_4	$Q_m =$	0 „
„ „ „ „ Russ	$Q_c =$	97 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	$Q'_a =$	127 „
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c =$	$Q_v =$	97 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	510 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	$Q_a =$	637 „
Verlust durch die Beiluft	$Q_b =$	214 „
„ „ „ abziehenden Gase	$Q_f =$	2018 „
Gesammtverlust	$Q_o =$	2847 „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0^0 $H_c =$ 6421 Cal.

Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht $Q_d =$ 6109 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	95 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	97 „
„ „ äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	127 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	3574 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	510 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	214 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1804 „
Summe	$= H_c =$	6421 Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	η_0	$= 0{,}9852$
„ der Verbrennung	η'_0	$= 0{,}9847$
„ „ Einhüllung der Feuerung	η'_a	$= 0{,}9796$
„ „ direkten Heizfläche	η'_2	$= 0{,}3$
„ „ Feuerung	η_1	$= 0{,}9503$
„ „ indirekten Heizfläche	η''_2	$= 0{,}4079$
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_{II}	$= 0{,}9371$
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	η''_a	$= 0{,}9164$
„ „ Dichtheit gegen Beiluft	η_b	$= 0{,}9649$
„ „ Gasabführung	η_g	$= 0{,}7044$
„ des Kessels	η_2	$= 0{,}5857$
„ der Kesselanlage	η	$= 0{,}5566$
Maximalwirkungsgrad den Kesselanlage	η_{max}	$= 0{,}9515$
Wirkungsgrad bezogen auf die disponible Wärmemenge	η_d	$= 0{,}5850$

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}233$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 2{,}58$ ℳ

Versuch X.

Wagen-Reparatur-Werkstatt zu Chemnitz.

Feuerröhrenkessel mit Planrost, untersucht am 5. Juli 1890.

Leiter: Lewicki.

Beobachter: Assist. Heberlein, Enders und Hille, Stud. Fischer.

Feuermann: Behrens.

Versuchszeit = 9 Stunden 15 Minuten.

A. Kesselanlage. (Tafel VIII u. XVIII.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Feuerröhrenkessel mit Dampfsammler, erbaut von Schwalbe & Sohn, Chemnitz, im Jahr 1886 für 6 *kg/qcm* Ueberdruck, Fabrik-Nummer 498.

Letzte Kesselreinigung am 13. Mai 1890.

Der Nebenkessel war in Betrieb.

Lage des Kessels: Der Kessel war allseitig zugänglich, links davon stand ein stationärer Lokomotivkessel.

Hauptkessel: Durchmesser $D = 1800$ *mm*
Länge $L = 3800$ „
Blechstärke $\delta = 12$ u. 13 *mm*
Feuerröhren: Anzahl der Rohre: $i_0 = 60$ Stück
Durchmesser $d = 82$ *mm*
Länge $l = 3850$ „
Wandstärke $\delta'' = 3,5$ „
Dampfsammler: Durchmesser $D' = 700$ „
Länge $L' = 3000$ „
Blechstärke $\delta_1 = 7$ „
Heizfläche: Direkte Heizfläche $F_1 = 3,44$ *qm*
Indirekte „ $F_2 = 70,42$ „
Gesammte „ $F = 73,86$ „
Wasserraum beim Versuch $V_1 = 6,889$ *cbm*
Dampfraum „ „ $V_2 = 2,701$ „
Gesammtraum $V = 9,590$ „

Verhältniss $\frac{V_2}{V_1} = 0,392$
„ $\frac{V_1}{V} = 0,718$
„ $\frac{V_2}{V} = 0,282$
Wasserspiegelfläche beim Versuch $O = 5,624$ *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche $\frac{O}{F} = 0,0761$
Wasserstandsgläser: Anzahl $i_1 = 2$ Stück
Sicherheitsventile: „ $i_2 = 1$ „
Durchmesser $d_1 = 83$ *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel $h = 1865$ „
Höhe des Speisewassereintritts unter dem Wasserspiegel $h_1 = 1166$ „
Dampfabblaserohr: Durchmesser $d_3 = 80$ „
Länge $l_5 = 5765$ „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser $d_5 = 85$ „
Ventilerhebung beim Versuch $h_2 = 2,6$ „

2. Feuerung.

System: Unterfeuerung, etwas geneigter Planrost, Patent Helix.

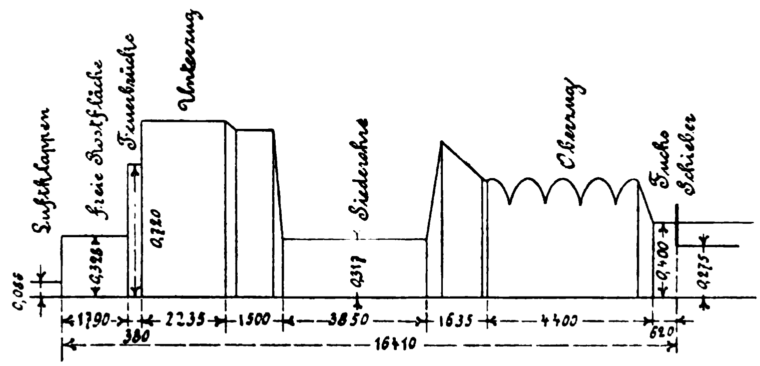
Rost: Roststabdicke $s = 184$ *mm*
Roststabhöhe $h = 70$ „
Roststablänge $a = 1250$ „
Rostspaltenweite $s_0 = 6$ u. 16 *mm*
Rostbreite $b = 1015$ *mm*
Rostlänge $l = 1685$ „
Gesammte Rostfläche $R = 1,71$ *qm*
Freie Rostfläche $R_0 = 0,328$ „

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0,192$
„ $\frac{R}{F} = 0,0232$
„ $\frac{R}{O} = 0,304$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnung (6 Beob.) $f_0 = 0,086$ *qm*
„ vor dem Rost $f_1 = 0,914$ „
„ der freien Rostfläche $R_0 = 0,328$ „



Versuch X.

Querschnitt über der Feuerbrücke $f_2 = 0,720$ *qm*
„ der engsten Rohrstelle $f_3 = 0,317$ „
„ des ganzen Fuchses $f_4 = 0,400$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung $f_5 = 0,577$ „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (37 Beobachtungen) $f = 0,275$ „

Verhältniss $\frac{f_0}{R} = 0,0503$
„ $\frac{f}{R} = 0,161$
„ $\frac{f_1}{R} = 0,535$
„ $\frac{R_0}{R} = 0,192$
„ $\frac{f_2}{R} = 0,421$
„ $\frac{f_3}{R} = 0,185$
„ $\frac{f_4}{R} = 0,234$
„ $\frac{f_5}{R} = 0,337$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beobachtungen) $b = 726{,}6$ *mm*
Atmosphärischer Druck $p_b = 0{,}988$ *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen (9 Beob) $\tau_1 = 23{,}7^0$
Innen (angen.) $\tau_2 = 30^0$
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer (18 Beob.) $\tau_3 = 22{,}12^0$
Trockenes Thermometer (18 Beob.) $\tau_4 = 29{,}73^0$
Luftfeuchtigkeitsgrad $\varphi = 57{,}6\ ^0/_0$
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft $G_w = 12{,}5$ *g*

Wetter: Veränderlich, früh schwacher N. W., nachmittags starker Wind, Gewitter.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Steinkohle, Knörpelkohle aus dem Schaderschacht in Zwickau.

Preis für 100 *kg* Brennstoff mit Fracht bis Chemnitz 1,20 ℳ

2. Elementaranalyse.

$C = 66{,}46\ ^0/_0$
$H = 5{,}05$ „
$O = 6{,}24$ „
$N = 2{,}23$ „
$S = 1{,}26$ „
Grubenfeuchtigkeit = 2,98 „
Hygrosk. Wasser = 5,88 „
Asche = 9,90 „
Verkokungsrückstand, zusammengebacken = 62,2 „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth $H_t = 6600$ Cal.
Calorimetrischer Heizwerth $H_c = 6394$ „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte durch einen Apparat, welcher den Brennstoff durch Quer- und Längsschnecken auf den Rost schaffte.

Der Apparat wurde 10 mal ungefähr 30 Minuten lang, in Pausen von annähernd 28 Minuten, in Thätigkeit gesetzt.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer des Versuches $Z = 9{,}25$ Stunden
Brennstoffmenge: Im Ganzen $ZB = 1200$ *kg*
Stündlich $B = 129{,}73$ „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung $\frac{B}{R} = 75{,}865$ *kg*
Rostanstrengung $\frac{BH_c}{R} = 485\,084$ Cal.
Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} = 1{,}756$ *kg*
Heizflächenanstrengung $\frac{BH_c}{F} = 11\,231$ Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{B}{O} = 23{,}067$ *kg*

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen = 48,7 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu_1 = 0{,}0406$ „
Schlacke: Im Ganzen = 28,5 „
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu_2 = 0{,}0237$ „
Asche und Schlacke: Im Ganzen = 77,2 „
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu = 0{,}0643$ „
Verbrennliches in der Asche und Schlacke $\mu_0 = 0{,}7633$ „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke $h_t = 6106$ Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_a = 0{,}0341$ *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_f = 0{,}0649$ „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 6 Einzelanalysen im Flammrohr $CO_2 = 12{,}2\ ^0/_0$
$O = 7{,}3$ „
Durchschnitt aus 5 Einzelanalysen im Fuchs $CO_2 = 7{,}0$ „
$O = 11{,}9$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Nach der Analyse $L_0 = 9{,}026$ *kg*
„ Welter $L'_0 = 9{,}419$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0{,}335$ „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 9{,}084$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Im Flammrohr $L = 13{,}98$ „
„ Fuchs $L' = 24{,}13$ „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge:
Im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 1{,}484$
„ Fuchs $\frac{L'}{L'_0} = m = 2{,}562$
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $L_1 = 10{,}15$ *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge $m_0 = 1{,}078$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Zuweilen ganz leichter Rauch.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase $c_0 = 0{,}33$ *g*
„ für 1 *kg* Brennstoff $c = 6{,}24$ „
Gewicht von 1 *cbm* Russ = 11,1 *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff = 0,00056 *cbm*
Verhältniss der Russvolumen- zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur = 0,0000147

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr:
Für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 14{,}85$ *kg*
Stündlich $G' = 1926{,}49$ „

Gasmenge im Fuchs:

Für 1 *kg* Brennstoff $G_0 =$ 25,00 *kg*

Stündlich $G =$ 3243,25 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (5 Beobachtungen) $t_3 =$ 1790 ^{0}

„ (berech.) $t'_3 =$ 993 ^{0}

Fuchstemperatur (108 Beobachtungen) $t_1 =$ 240,0 ^{0}

Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p =$ 0,246

„ „ „ zugeführten Luft $c'_p =$ 0,24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (37 Beob.) $h =$ 8,4 *mm* Wassersäule

Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w =$ 1,320 *m*

Verbrennungsgeschwindigkeit $c =$ 0,0142 *mm*

Mittlere Geschwindigkeit in den Zügen $w_m =$ 1,409 *m*

Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l =$ 80 Cal.

Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_b =$ 58 „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus dem Brunnen vom Grundstück entnommen. Die Förderung erfolgte durch einen Injektor. Das Speisewasser wurde in einem Reservoir von 1 *qm* Grundfläche und 0,5 *m* Höhe durch die Differenzen der Wasserhöhen, bei einer jedesmaligen Speisung, in letzterem gemessen.

Das Speisen erfolgte 18 mal ungefähr 6 Minuten lang, in Pausen von annähernd 22 Minuten.

Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten:

Zu Anfang des Versuches $\Delta_1 =$ 66 *mm*

„ Ende „ „ $\Delta_2 =$ 65 „

Speisewassertemperatur im Mittel (17 Beobachtungen) $\tau_0 =$ 12,5 ^{0}

Speisewassermenge: Im Ganzen $ZS =$ 8325,9 *kg*

Stündlich $S =$ 900,1 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck $p_b =$ 0,988 *kg/qcm*

Mittlerer Dampfdruck nach dem Druckschreiber $p_u =$ 5,39 „

Dampfdruck zu Anfang des Versuches $p_1 =$ 6,0 „

„ „ Ende „ „ $p_2 =$ 6,0 „

Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 =$ 6,378 „

Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (36 Beob.) $p' =$ 0,00268 „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel $t_0 =$ 160,33 ^{0}

„ „ des ausströmenden Dampfes (36 Beobachtungen) $t'_1 =$ 134,1 ^{0}

Mittlere Ueberheitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u =$ 35,28 ^{0}

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 =$ 655,40 Cal.

Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 =$ 646,33 „

Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0} =$ 12,5 „

Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e =$ 633,70 „

Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e =$ 4397 „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge $S =$ 900,1 *kg*

„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} =$ 12,187 „

„ „ „ 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} =$ 6,938 „

Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} =$ 6,902 „

Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} =$ 160,046 „

Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche $\frac{S}{R} =$ 526,374 „

Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 =$ 13,3 *mm*

Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} =$ 7723 Cal.

Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_c}{F} =$ 11231 „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong$ 1,8 %

H. Wärmeverluste.

Rostverlust $Q_r =$ 239 Cal.

Verlust durch Bildung von CO $Q_k =$ 0 „

„ „ „ „ CH_4 $Q_m =$ 0 „

„ „ „ „ Russ $Q_c =$ 50 „

„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes $Q'_a =$ 154 „

„ „ unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c = Q_v =$ 50 „

Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels $Q''_a =$ 230 „

Gesammtverlust durch äussere Abkühlung $Q_a =$ 384 „

Verlust durch die Beiluft $Q_b =$ 527 „

„ „ „ abziehenden Gase $Q_f =$ 1324 „

Gesammtverlust $Q_o =$ 1997 „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0 ^{0} $H_c =$ 6394 Cal.

Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht $Q_d =$ 5987 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	239 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	50 „
„ „ äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	154 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	4397 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	230 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	527 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	797 „
Summe	$= H_c =$	6394 Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	η_0	= 0,9626
„ der Verbrennung	η'_0	= 0,9919
„ „ Einhüllung der Feuerung	η'_a	= 0,9754
„ „ direkten Heizfläche	η'_2	= 0,25
„ „ Feuerung	η_1	= 0,9313
„ „ indirekten Heizfläche	η''_2	= 0,6536
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_{II}	= 0,9317
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	η''_a	= 0,9614
„ „ Dichtung gegen Beiluft	η_b	= 0,9115
„ „ Gasabführung	η_g	= 0,8662
„ des Kessels	η_2	= 0,7391
„ der Kesselanlage	η	= 0,6877
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	η_{max}	= 0,9363
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	η_d	= 0,7344

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}508$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 1{,}739$ ℳ

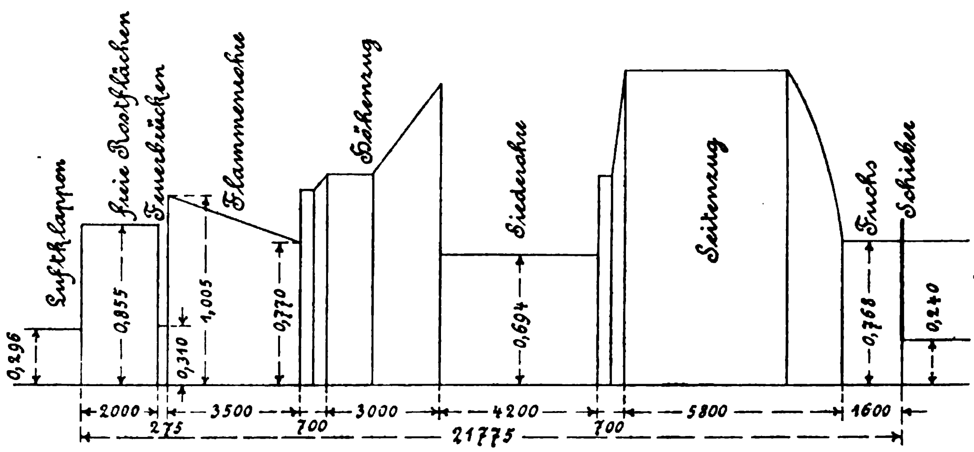
Versuch XI und XII.
Sächsische Maschinenfabrik, Chemnitz.

Kombinirter Kessel, untersucht am 18./19. September 1890.
Leiter des Versuches: Lewicki.
Beobachter: Assist. Heberlein, Enders, Hille, Stud. Hermsdorf.
Feuermann: Beier.
Versuchszeit: Versuch XI = 9 Stunden 41 Minuten.
„ XII = 6 „ 10 „

A. Kesselanlage. (Tafel IX.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Kombinirter Kessel mit Cario-Feuerung, erbaut von der Sächs. Maschinenfabrik, Chemnitz, im Jahre 1885, Fabrik-Nr. 1761. Der Rost wurde 1887 von O. Thost eingebaut nach dem Patent Cario. Der Kessel wurde mit 11 *kg/qcm* geprüft und für 6 *kg/qcm* Ueberdruck gestempelt. Letzte Reinigung des Kessels 1/4 Jahr vor dem Versuch. Der Kessel wurde 2 Tage vor dem Versuch ausser Betrieb gesetzt. Der Dampf hatte am Abend vor



Versuch XI und XII.

dem Versuch 1 *kg/qcm* Ueberdruck. Am Versuchstage wurde der Kessel um 1/2 6 früh angefeuert. Die Kesselstirne ist unbekleidet und strahlt stark aus. Während des Versuches war der fast ebenso grosse Nebenkessel im Betrieb. Bei diesem war die Kesselstirne bekleidet.

Hauptkessel:

a) Unterkessel:	Durchmesser	D	= 2168 *mm*
	Länge	L	= 6000 „
	Blechstärke	δ	= 16 „
Flammrohre:	Zahl der Flammrohre	i	= 2 Stück
	„ „ Schüsse	i'	= 5 „
	Durchmesser der Schüsse	D_1	= 800 800/750 750/700 *mm*
	Länge	L_1	= 1140 u. 1290 *mm*
	Blechstärke	δ_1	= 16 *mm*
b) Oberkessel:	Durchmesser	D'	= 2168 „
	Länge		= 4200 „
	Blechstärke		= 16 „

Feuerröhren: Zahl $= 98$ Stück
Durchmesser $= 95$ *mm*
Länge $= 4200$ „
Blechstärke $= 3,5$ „
Heizfläche: Direkte Heizfläche $F_1 = 3,75$ *qm*
indirekte „ $F_2 = 181,25$ „
gesammte „ $F = 185$ „
Wasserraum beim Versuch $V_1 = 23,86$ *cbm*
Dampfraum „ „ $V_2 = 8,67$ „
Gesammtraum $V = 32,53$ „
Verhältniss $V_2 : V_1 = 0,3631$
„ $V_1 : V = 0,7334$
„ $V_2 : V = 0,2666$
Wasserspiegelfläche beim Versuch $O = 9,681$ *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche $O : F = 0,0523$
Sicherheitsventile: Anzahl $i_2 = 2$ Stück
Durchmesser $d_1 = 120$ *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel $h = 1260$ „
Speisewassereintritt unter dem Wasserspiegel $h_1 = 500$ „
Dampfabblaserohr: Durchmesser $d_3 = 85$ „
Länge $l_5 = 11620$ „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser $d_5 = 85$
Ventilerhebung beim Versuch $h_2 = 2,14$ *mm*

2. Feuerung.

System: Cario.

Rost: Roststabdicke $s = 22$ *mm*
Roststabhöhe $h = 85$ „
Roststablänge $a = 920$ „
Rostspaltenweite $s_0 = 3,5$ „
Rostbreite $b = 920$ „
Rostlänge $l = 2000$ „
Gesammte Rostfläche $R = 3,48$ *qm*
Freie „ $R_0 = 0,855$ „

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0,246$

„ $\frac{R}{F} = 0,0199$

„ $\frac{R}{O} = 0,3801$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen $f_0 = 0,296$ *qm*
„ der freien Rostfläche $R_0 = 0,855$ „
„ über der Feuerbrücke $f_2 = 0,310$ „
„ der engsten Rohrstelle $f_3 = 0,694$ „
„ des ganzen Fuchses $f_4 = 0,768$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung $f_5 = 1,015$ „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (40 Beobachtungen) $f = 0,240$ „

Verhältniss $\frac{f}{R} = 0,117$

„ $\frac{f_0}{R} = 0,080$

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0,246$

„ $\frac{f_2}{R} = 0,151$

„ $\frac{f_3}{R} = 0,189$

„ $\frac{f_4}{R} = 0,374$

„ $\frac{f_5}{R} = 0,495$

B. Aeussere Zustände.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Barometerstand	b	$= 741,83$ *mm*	740,80 *mm*
Beobachtungen		—	7
Atmosphärischer Druck	p_b	$= 1,0086$ *kg/qcm*	1,0071 *kg/qcm*
Temperatur der Luft, aussen	τ_1	$= 19,29^0$	$20,61^0$
Beobachtungen		—	7
Psychrometer:			
Befeuchtetes Thermometer	τ_2	$= 19,54^0$	—
Trockenes „	τ_3	$= 24,50^0$	—
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ	$= 63,5$ %	—
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	G_w	$= 10,7$ *g*	—

Wetter: Heiter. Wind: Mässiger Südost-Wind.

B. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Waschkohle der Gewerkschaft Deutschland in Oelsnitz.

Preis von 10,000 *kg* mit Fracht 117,5 ℳ.

2. Elementaranalyse.

$C =$	58,88 %		62,13 %
$H =$	3,96 „		4,21 „
$O =$	6,61 „		7,56 „
$N =$	2,27 „		2,40 „
$S =$	1,31 „		1,38 „
Grubenfeuchtigkeit $=$	12,70	18,68 %	7,7	13,83 %
Hygroskop. Wasser $=$	5,98		6,13	
Asche $=$	8,29 %		8,49 %	
Verkokungsrückstand, zusammengebacken $=$	63,8 %		63,7 %	

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth $H_t = 5598$ Cal. 5930 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth $H_c = 5745$ „ 6108 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand und zwar so, dass die Kohle abwechselnd einmal auf die linke Seite und einmal auf die rechte Seite des Rostes geworfen wurde.

Es waren im Ganzen Beschickungen 101 85
zu 26,2 *kg* 23 *kg*

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer $Z = 10,7$ Stund. 6,2 Stund.
Brennstoffmenge: Im Ganzen $ZB = 2650$ *kg* 1950 *kg*
Stündlich $B = 269,03$ „ 316,22 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Rostbelastung	$\frac{B}{R} =$	73,12 *kg*	85,93 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} =$	420074 Cal.	559565 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} =$	1,45 *kg*	1,71 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} =$	8330 Cal.	10445 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} =$	27,79 *kg*	32,66 *kg*

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen	=	120 *kg*	62,1 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_1 =$	0,0453 „	0,0318 „
Schlacke: Im Ganzen	=	141,5 „	93 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_2 =$	0,0534 „	0,0477 „
Asche und Schlacke: Im Ganzen	=	261,5 „	155,1 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu =$	0,0987 „	0,0795 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	$\mu_0 =$	0,365 „	0,328 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	$h_t =$	2920 Cal.	2624 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_a =$	0,0816 *kg*	0,068 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_f =$	0,0013 „	0,0169 „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus Einzelanalysen: Im Flammrohr	$CO_2 =$	9,2 %	12,6 %
	$O =$	8,5 „	5,3 „
Im Fuchs	$CO_2 =$	7,7 „	10,6 „
	$O =$	11,3 „	7,9 „
Anzahl der Einzelanalysen: Aus dem Flammrohr	=	9	7
„ „ Fuchs	=	7	7

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Nach der Analyse	$L_0 =$	7,782 *kg*	8,200 *kg*
„ Welter	$L'_0 =$	8,510 „	8,997 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	$l_0 =$	0,192 „	0,129 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0 =$	8,318 „	8,868 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Im Flammrohr	$L =$	16,97 „	13,325 „
„ Fuchs	$L' =$	20,211 „	15,772 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge Im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m' =$	1,994	1,481
„ Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m =$	2,375	1,753
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	$L_1 =$	3,241 *kg*	2,447 *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	$m_0 =$	0,381	0,272

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Versuch XI: Leichter weisslicher Rauch.
„ XII: „ hellgrauer „

Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase	$c_0 =$	0,3 *g*	0,6 *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff	$c =$	4,8 „	7,5 „
Gewicht von 1 *cbm* Russ	=	11,1 *kg*	11,1 *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff	=	0,00043 *cbm*	0,00068 *cbm*
Verhältniss des Russvolumens zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur	=	0,0000137	0,0000265

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr: Für 1 *kg* Brennstoff	$G'_0 =$	17,87 *kg*	14,23 *kg*
Stündlich	$G' =$	4807,64 „	4499,81 „
Gasmenge im Fuchs: Für 1 *kg* Brennstoff	$G_0 =$	21,11 „	16,67 „
Stündlich	$G =$	5679,58 „	5271,39 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur	$t_3 =$	846,93°	—
„ (berech.)	$t'_3 =$	1072,4°	1452,5°
Beobachtungen	=	5	—
Fuchstemperatur	$t_1 =$	238,53°	257,1°
Beobachtungen	=	119	38
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs	$c_p =$	0,246	0,246
Spezifische Wärme der zugeführten Luft	$c'_p =$	0,24	0,24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber: Wassersäule	$h =$	8,075 *mm*	8,79 *mm*
Zahl der Beobachtungen	=	40	38
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	$w =$	1,958 *m*	1,858 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	$c =$	0,013 *mm*	0,016 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen	$w_m =$	2,027 *m*	2,119 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	$Q'_l =$	78,564 Cal.	65,910 Cal.
Wärmemenge in der Beiluft	$Q'_b =$	15,005 „	12,103 „

F. Speisung.

Die Förderung erfolgte durch einen Injektor. Das Speisewasser wurde aus einem Reservoir bezogen, das aus einem Brunnen gefüllt wurde, in den das Kondenswasser der Schmiede-Dampfmaschine geleitet war.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Die Speisung erfolgte		17 mal	14 mal
jedesmal ungefähr		9 Min. lang	9,5 Min. lang
in zusammen		9 Std. 15 Min.	5 Std. 2 Min.
Wasserstand im Kessel:			
Zu Anfang des Versuches	Δ_1 =	82 *mm*	15 *mm*
„ Ende „ „	Δ_2 =	56 „	20 „
Mittlerer Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten	Δ =	50,1 „	17,83 „
Beobachtungen	=	11	6
Speisewassertemperatur im Mittel	τ_0 =	19,42 ⁰	18,23 ⁰
Beobachtungen	=	17	14
Speisewassermenge:			
Im Ganzen	ZS =	14750,7 *kg*	12785,3 *kg*
Stündlich	S =	1497,5 „	2073,3 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Atmosphärischer Druck	p_b =	1,0086 *kg/qcm*	1,0071 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck	p_u =	5,81 „	5,64 „
Beobachtungen	=	—	24
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	p_1 =	5,77 „	5,4 „
Dampfdruck zu Ende des Versuches	p_2 =	5,77 „	5,4 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0 =	6,82 „	6,65 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes	p' =	0,0063 „	0,0091 „
Beobachtungen	=	40	25

3. Dampftemperaturen.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	$t_0^{\bullet}$ =	163,35 ⁰	162,07 ⁰
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes	t'_1 =	133,74 ⁰	132,83
Beobachtungen	=	38	25
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u =	34,26 ⁰	33,31 ⁰

4. Wärmemengen.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Gesammtwärme von 1 *kg* trockenem Dampf	λ_0 =	656,32 Cal.	655,93 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes	λ'_0 =	648,56 „	649,90 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	q_{τ_0} =	19,42 „	18,23 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e =	629,01 „	631,54 Cal.
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e =	3501 „	4140 „

5. Dampfmengen.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Stündliche Dampfmenge	S =	1497,5 *kg*	2073,3 *kg*
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$ =	8,094 „	11,207 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$ =	5,566 „	6,556 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$ =	5,496 „	6,499 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O}$ =	154,70 „	214,16 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R}$ =	406,9 „	563,39 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	w_0 =	11,12 *mm*	9,17 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F}$ =	5091 Cal.	7078 Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_e}{F}$ =	8330 Cal.	10445 Cal.

6. Wassergehalt des Dampfes.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Wassergehalt des Dampfes im Kessel	$\varphi_d \cong$	1,6 %	1,2 %

H. Wärmeverluste.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Rostverlust	Q_r =	137 Cal.	92 Cal.
Verlust durch Bildung von CO	Q_k =	0 „	0 „
„ „ „ von CH_4	Q_m =	0 „	0 „
„ „ „ „ Russ	Q_c =	38,74 „	60,94 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	Q'_a =	185,90 „	167,62 „
Verlust durch unvollständige Verbrennung	Q_v =	38,74 „	60,94 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	Q''_a =	743,61 „	670,47 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	Q_a =	929,51 „	838,09 „
Verlust durch die Beiluft	Q_b =	170,53 „	138,62 „
„ „ „ abziehenden Gase	Q_f =	1138,75 „	976,97 „
Gesammtverlust	Q_o =	2244 „	1968 „

I. Disponible Wärmemenge.

		Vers. XI.	Vers. XII.
Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	5745 Cal.	6108 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	5366,1 „	5738,6 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	137 Cal.	92 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	38,74 „	60,94 „
Verlust durch äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	185,90 „	167,62 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_c =$	3501 „	4140 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	743,61 „	670,47 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	170,53 „	138,62 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	968,22 „	838,35 „
Summe =	$H_c =$	5745 Cal.	6108 Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	$\eta_0 =$	0,9498	0,9658
„ der Verbrennung	$\eta'_0 =$	0,9929	0,9897
„ „ Einhüllung der Feuerung	$\eta'_a =$	0,9657	0,9713
Wirkungsgrad der direkten Heizfläche	$\eta'_2 =$	0,3	0,3

		Vers. XI.	Vers. XII.
Wirkungsgrad des Kessels	$\eta_2 =$	0,6402	0,7096
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,6094	0,6778
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9340	0,9395
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,6524	0,7214

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes	$K =$	0,386	0,490

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P =$	2,14 ℳ	1,81 ℳ

Versuch XIII und XIV.
Sächsische Maschinenfabrik zu Chemnitz.

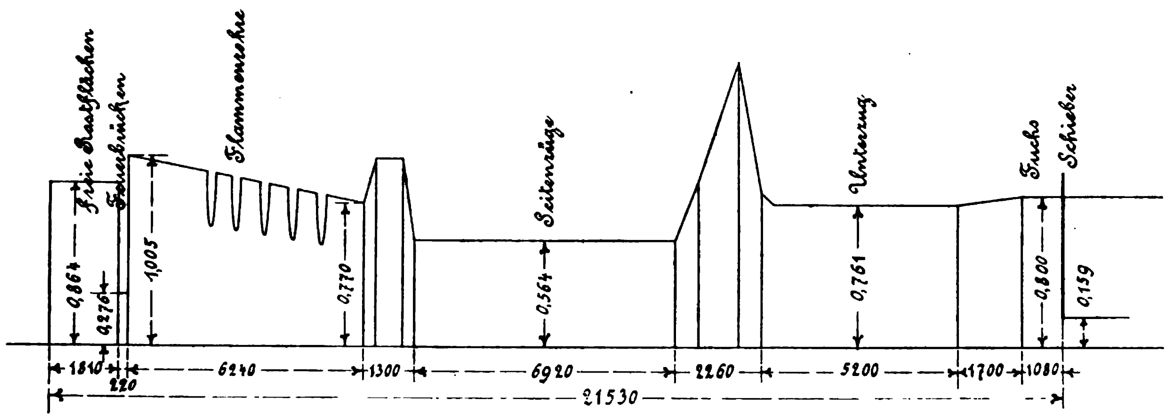
Galloway-Kessel mit Leach's Patent-Beschickung, untersucht am 25. Oktober und 1. November 1890.

Leiter: Lewicki.

Beobachter: Assist. Heberlein, Enders und Hille, Stud. Hermsdorf und Blankmeister.

Feuermann: Müller.

Versuchszeit: Versuch XIII: 7 Stunden 55 Minuten.
„ XIV: 8 „ 58 „



Versuch XIII und XIV. Längen- und Querschnitt der gesammten Zugführung.

Wirkungsgrad der Feuerung	$\eta_1 =$	0,9107	0,9284
„ der indirekten Heizfläche	$\eta''_2 =$	0,4857	0,5851
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	$\eta''_{II} =$	0,9276	0,9349
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	$\eta''_a =$	0,8579	0,8818
Wirkungsgrad der Dichtheit gegen Beiluft	$\eta_b =$	0,9674	0,9756
Wirkungsgrad der Gasabführung	$\eta_g =$	0,8149	0,8522

A. Kesselanlage. (Tafel X u. XIX.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Gallowaykessel mit zwei Flammrohren, erbaut von der Sächs. Maschinenfabrik zu Chemnitz, mit mechanischer Feuerung, Patent Leach, in Betrieb genommen am 23. April 1890. Letzte Kesselreinigung am 18. September 1890. Die nebenliegenden Kessel waren in Betrieb.

Lage des Kessels: Der Kessel war links angebaut.

Hauptkessel: Durchmesser $D = 2200$ *mm*

Länge	$L = 8500$ *mm*		
Flammrohre: Anzahl	$i = 2$ Stück		
Durchmesser	$D_1 = 800$ *mm*		
Länge	$L_1 = 8500$ „		
Gallowayröhren: Anzahl	$i_0 = 10$ Stück		
Heizfläche: Direkte Heizfläche	$F_1 = 5{,}53$ *qm*		
Indirekte „	$F_2 = 69{,}89$ „		
Gesammte „	$F = 75{,}42$ „		
		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Wasserraum beim Versuch	$V_1 =$	20,532 *cbm*	20,165 *cbm*
Dampfraum „ „	$V_2 =$	7,769 „	8,126 „
Gesammtraum	$V =$	28,291 „	28,291 „
Verhältniss	$\frac{V_2}{V_1} =$	0,378	0,403
„	$\frac{V_1}{V} =$	0,726	0,713
„	$\frac{V_2}{V} =$	0,275	0,287
Wasserspiegelfläche beim Versuch	$O =$	16,873 *qm*	16,915 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$\frac{O}{F} =$	0,224	0,224
Wasserstandsgläser: Anzahl	$i = 1$ Stück		
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	$h = 1650$ *mm*		
Dampfabblaserohr: Durchmesser	$d_3 = 80$ „		
Länge	$l_5 = 14000$ „		
Ausblaserohrmündung: Durchmesser	$d_5 = 85$ „		
Ventilerhebung beim Versuch	$h_2 =$	6,9 *mm*	8 *mm*

2. Feuerung.

System: Innenfeuerung mit wagerechtem Planrost und Leach's Patent-Beschickung.

Rost: Roststabdicke	$s = 9$ *mm*		
Roststabhöhe	$h = 80$ „		
Roststablänge	$a = 450$ „		
Rostspaltenweite	$s_0 = 4$ „		
Rostbreite	$b = 800$ „		
Rostlänge	$l = 1800$ „		
Gesammte Rostfläche	$R = 2{,}88$ *qm*		
Freie Rostfläche	$R_0 = 0{,}864$ „		
Verhältniss	$\frac{R_0}{R} = 0{,}300$		
„	$\frac{R}{F} = 0{,}0382$		
„	$\frac{R}{O} =$	0,1707	0,1703

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt vor dem Rost	$f_1 = 0{,}374$ *qm*
„ der freien Rostfläche	$R_0 = 0{,}864$ „
„ über der Feuerbrücke	$f_2 = 0{,}276$ „
„ der engsten Rohrstelle	$f_3 = 0{,}339$ „
„ des ganzen Fuchses	$f_4 = 0{,}800$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zuführung	$f_5 = 0{,}763$ „

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch: Anzahl der Beobachtungen		33	33
	$f =$	0,159 *qm*	0,140 *qm*
Verhältniss	$\frac{f}{R} =$	0,0552	0,0486
„	$\frac{f_1}{R} = 0{,}130$		
„	$\frac{R_0}{R} = 0{,}300$		
„	$\frac{f_2}{R} = 0{,}0958$		
„	$\frac{f_3}{R} = 0{,}118$		
„	$\frac{f_4}{R} = 0{,}278$		
„	$\frac{f_5}{R} = 0{,}265$		

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand: Anzahl der Beobachtungen		8	10
	$b =$	731,0 *mm*	727,5 *mm*
Atmosphärischer Druck	$p_b =$	0,994 *kg/qcm*	0,989 *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen Anzahl der Beobacht.		8	10
	$\tau_1 =$	9,7 ⁰	9,9 ⁰
Innen: (angen.)	$\tau_2 = \tau_4 =$	23,1 ⁰	21,2 ⁰
Psychrometer: Anzahl der Beobachtungen		15	19
Befeuchtetes Thermometer	$\tau_3 =$	17,9 ⁰	15,1 ⁰
Trockenes „	$\tau_4 =$	23,1 ⁰	21,2 ⁰
Luftfeuchtigkeitsgrad	$\varphi =$	58,7 %	45,9 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	$G_w =$	5,5 *g*	4,4 *g*

Wetter: An beiden Versuchstagen veränderlich, Vormittags leichter Regen.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Bei beiden Versuchen Steinkohle aus dem Ida-Helenen-Schacht zu Hohndorf, und zwar 2 Gewichtstheile Nusskohle und 1 Gewichtstheil Waschklarkohle.

Preis für 100 *kg* Nusskohle mit Fracht 1,352 ℳ.

„ „ 100 „ Waschklarkohle mit Fracht 1,195 ℳ.

2. Elementaranalysen.

$C =$	67,02 %	67,47 %
$H =$	4,07 „	4,01 „
$O =$	7,40 „	7,38 „
$N =$	1,67 „	1,58 „
$S =$	0,90 „	0,90 „
Grubenfeuchtigkeit =	7,30 „	7,20 „
Hygrosk. Wasser =	6,72 „	6,47 „
Asche =	4,92 „	4,99 „
Verkokungsrückstand, zusammengebacken =	65,7 „	65,4 „

3. Heizwerthe.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Theoretischer Heizwerth	$H_t =$	6279 Cal.	6302 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth	$H_c =$	6619 „	6631 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte durch einen Apparat, welcher die Kohlen aus dem Fülltrichter mittelst eines Flügelrades auf den Rost warf und durch eine mechanisch bewegte Klappe die Kohlen gleichmässig auf dem Letzteren vertheilte.

Der Apparat war am ersten Versuchstag 3 Minuten und am zweiten 15 Minuten ausser Thätigkeit.

Die Tourenzahl der Antriebswelle am Apparat betrug an beiden Versuchstagen $n = 510$ Touren in der Minute.

Die Anzahl der Hübe des Vertheilungsschiebers $n_1 = 6{,}6$ am ersten, und $n_1 = 7{,}7$ in der Minute am zweiten Versuchstag.

Der Hub des Vertheilungsschiebers an beiden Tagen $s = 104$ *mm*.

2. Brennstoffmenge.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Zeitdauer des Versuches	$Z =$	7,917 Stund.	8,967 Stund.
Brennstoffmenge: Im Ganzen	$ZB =$	2107 *kg*	2350 *kg*
Stündlich	$B =$	266,15 „	262,08 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} =$	92,413 *kg*	91,00 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} =$	611686 Cal.	603421 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} =$	3,529 *kg*	3,475 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} =$	23358 Cal.	23042 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} =$	15,774 *kg*	15,494 *kg*

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen	$=$	18 *kg*	27 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_1 =$	0,0085 „	0,0112 „
Schlacke: Im Ganzen	$=$	65,5 „	79,6 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_2 =$	0,0311 „	0,0330 „
Asche u. Schlacke: Im Ganzen	$=$	83,5 „	106,6 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu =$	0,0396 „	0,0442 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	$\mu_0 =$	0,332 „	0,346 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	$h_t =$	2656 Cal.	2768 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_a =$	0,0342 *kg*	0,0383 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_f =$	0,0150 „	0,0116 „

5. Rauchgasanalysen.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Flammrohr:	Anzahl $=$	12	12
	$CO_2 =$	13,3 %	14,7 %
	$O =$	5,6 „	3,9 „
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Fuchs:	Anzahl $=$	13	12
	$CO_2 =$	10,2 %	11,8 %
	$O =$	8,4 „	6,9 „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Nach der Analyse	$L_0 =$	8,692 *kg*	8,723 *kg*
„ Welter	$L'_0 =$	9,703 „	9,713 „
Der Aschen und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	$l_0 =$	0,061 „	0,066 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0 =$	9,642 „	9,647 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Im Flammrohr	$L =$	13,74 „	12,51 „
„ Fuchs	$L' =$	17,84 „	15,52 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge: Im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m' =$	1,416	1,288
„ Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m =$	1,839	1,598
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	$L_1 =$	4,10 *kg*	3,01 *kg*
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	$m_0 =$	0,4225	0,3099

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: War nicht zu beobachten, wegen Zusammenarbeiten mit anderen Kesseln.

Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase	$c_0 =$	0,40 *g*	0,49 *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff	$c =$	5,65 „	6,04 „
Gewicht von 1 *cbm* Russ	$=$	11,1 *kg*	11,1 *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff	$=$	0,00051 *cbm*	0,00055 *cbm*
Verhältniss der Russvolumen- zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur	$=$	0,0000147	0,0000188

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr: Für 1 *kg* Brennstoff	$G'_0 =$	14,69 *kg*	13,45 *kg*
Stündlich	$G' =$	3909,74 „	3524,98 „

Gasmenge im Fuchs:

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Für 1 *kg* Brennstoff	G_0 =	18,79 *kg*	16,46 *kg*
Stündlich	G =	5000,96 „	4313,84 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Gluthtemperatur (2 Beob.)	t_3 =	—	1473°
„ (berech.)	t'_3 =	1413°	1614°
Fuchstemperatur: Anzahl der Beobachtungen		96	109
	t_1 =	354,8°	329°
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs	c_p =	0,246	0,246
Spezifische Wärme der zugeführten Luft	c'_p =	0,24	0,24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber:

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Anzahl der Beobacht.	=	33	36
Wassersäule	h =	9,7 *mm*	8,8 *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	w =	0,985 *m*	0,878 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	c =	0,0171 *mm*	0,0168 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit in den Zügen	w_m =	1,003 *m*	0,849 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_e =	32 Cal.	30 Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_b =	9,5 „	7,2 „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus dem Brunnen vom Grundstück entnommen.

Die Förderung erfolgte durch einen Körting'schen Injektor.

Die Messung des Speisewassers erfolgte in einem Reservoir, das durch Einwiegen von Wasser mit 10° Temperatur für 400 *kg* geaicht wurde.

Das Speisen erfolgte beim ersten Versuch 38 Mal, ungefähr 6 Minuten lang, in Pausen von annähernd 9 Minuten; beim zweiten Versuch 43 Mal in denselben Zeiträumen wie vorher.

Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Zu Anfang des Versuches	Δ_1 =	52 *mm*	50 *mm*
Zu Ende des Versuches	Δ_2 =	52 „	50 „
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten: Anzahl der Beobachtungen	=	8	8
	Δ =	56,0 *mm*	42,5 *mm*
Speisewassertemperatur im Mittel: Anzahl der Beob.	=	37	43
	τ_0 =	11,1°	10,1°

Speisewassermenge:

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Im Ganzen	ZS =	14498,5 *kg*	16885,0 *kg*
Stündlich	S =	1831,4 „	1883,1 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Atmosphärischer Druck	p_b =	0,994 *kg/qcm*	0,989 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck: Anzahl der Beobachtungen	=	33	37
	p_u =	3,7 „	3,65 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	p_1 =	3,8 „	3,9 „
Dampfdruck zu Ende des Versuches	p_2 =	3,7 „	3,75 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0 =	4,694 „	4,639 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beobachtungen	=	32	37
	p' =	0,0101 „	0,00944 „

3. Dampftemperaturen.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	t_0 =	148,64°	148,21°
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beobachtungen	=	32	37
	t'_1 =	128,6°	127,7°
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u =	29,4°	28,7°

4. Wärmemengen.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf	λ_0 =	651,84 Cal.	651,70 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes	λ'_0 =	648,83 „	647,67 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	$q_{\tau 0}$ =	11,1 „	10,1 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e =	637,64 „	637,48 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e =	4388 „	4580 „

5. Dampfmengen.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Stündliche Dampfmenge	S =	1831,4 *kg*	1883,1 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$ =	24,283 „	24,968 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$ =	6,881 „	7,185 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$ =	6,893 „	7,196 „

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O} =$	108,540 *kg*	111,327 *kg*
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Roftfläche	$\frac{S}{R} =$	635,903 „	654,854 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	$w_0 =$	12,0 *mm*	12,4 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F} =$	15484 Cal.	15917 Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F} =$	23358 „	23042 „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel	$\varphi_d \cong$	0,7 %	0,8 %

H. Wärme-Verluste.

Rostverlust	$Q_r =$	43 Cal.	47 Cal.
Verlust durch Bildung von CO	$Q_k =$	0 „	0 „
„ „ „ von CH_4	$Q_m =$	0 „	0 „
„ „ „ „ Russ	$Q_c =$	46 „	49 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	$Q'_a =$	110 „	134 „
Verlust durch unvollständige Verbrennung: $Q_k + Q_m + Q_c$	$= Q_v =$	46 „	49 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	442 „	534 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	$Q_a =$	552 „	668 „
Verlust durch die Beiluft	$Q_b =$	340 „	231 „
„ „ „ abziehenden Gase	$Q_f =$	1590 „	1287 „
Gesammtverlust	$Q_0 =$	2231 „	2051 „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	6619 Cal.	6631 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	6229 „	6242 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	43 Cal.	47 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	46 „	49 „
Verlust durch äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	110 „	134 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	4388 „	4580 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	442 „	534 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	340 „	231 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1250 „	1056 „
Summe	$= H_c =$	6619 Cal.	6631 Cal.

L. Wirkungsgrade.

		Vers. XIII.	Vers. XIV.
Wirkungsgrad des Rostes	$\eta_0 =$	0,9934	0,9929
„ der Verbrennung	$\eta'_0 =$	0,9930	0,9926
Wirkungsgrad der Einhüllung der Feuerung	$\eta'_a =$	0,9832	0,9794
Wirkungsgrad der direkten Heizfläche	$\eta'_2 =$	0,3	0,3
Wirkungsgrad der Feuerung	$\eta_1 =$	0,9698	0,9653
„ „ indirekten Heizfläche	$\eta''_2 =$	0,5477	0,5936
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	$\eta''_{II} =$	0,9392	0,9392
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	$\eta''_a =$	0,9311	0,9166
Wirkungsgrad der Dichtung gegen Beiluft	$\eta_b =$	0,9470	0,9639
Wirkungsgrad der Gasabführung	$\eta_g =$	0,8053	0,8350
Wirkungsgrad des Kessels	$\eta_2 =$	0,6834	0,7155
„ der Kesselanlage	$\eta =$	0,6629	0,6907
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9411	0,9413
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,7044	0,7337

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes	$K =$	0,375	0,447

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P =$	1,886 *M*	1,806 *M*

Versuch XV. L. Hermsdorf, Chemnitz.

Gallowaykessel, untersucht am 24. Januar 1891.
Leiter des Versuchs: Lewicki, Prof. Hempel.
Beobachter: Assistent Naeher, Enders, Stud. Meyer.
Feuermann: Liebermuth.
Versuchszeit: 7 Stunden 42 Minuten.

A. Kesselanlage. (Tafel XI)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Gallowaykessel mit Planrost, erbaut von Sulzberger & Co. in Flöha bei Cemnitz im Jahre 1888. Fabrik-Nummer 973, Kesselnummer 3129. Der Kessel wurde mit 11 *kg/qcm* geprüft und für 6 *kg/qcm* Ueberdruck gestempelt. Der Kessel wurde 28 Tage vor dem Versuch gereinigt. Kesselreinigung findet alle 6 Wochen statt. Betriebszeit des Kessels von Montag früh 4 Uhr bis Sonntag früh 6 Uhr. Die Kesselstirn ist mit Wärmeschutzmasse bekleidet.

Lage des Kessels: Der Kessel lag allein im Kesselhaus eingemauert.

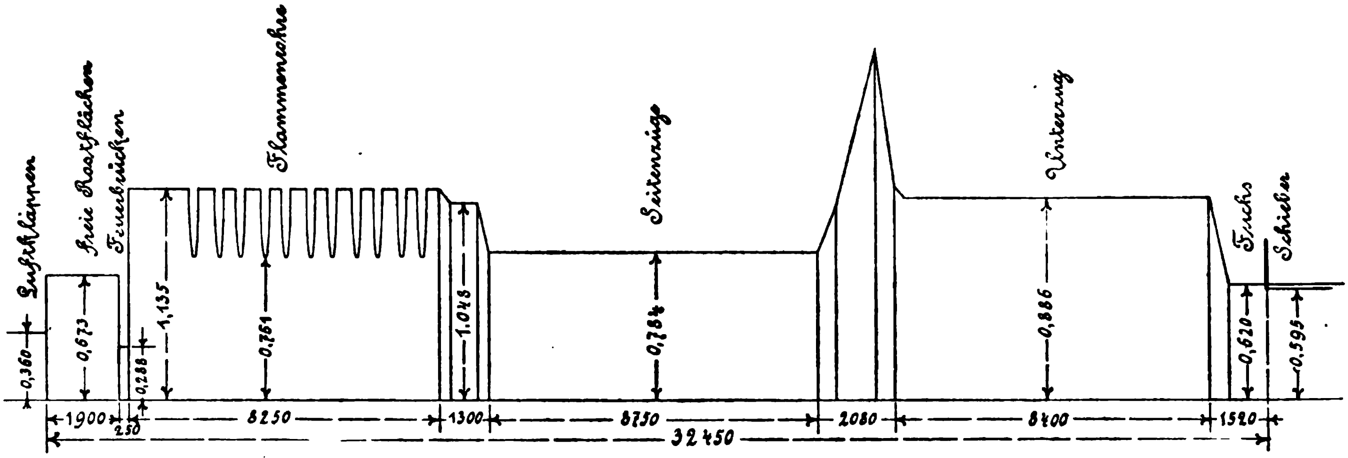
Hauptkessel:	Durchmesser	$D = 2200$ *mm*
	Länge	$L = 10315$ „
	Blechstärke	$\delta = 16$ „
Flammrohre:	Zahl der Flammrohre	$i = 2$ Stück
	„ „ Schüsse	$i' = 8$ „
	Durchmesser „	$D_1 = 850$ *mm*
	Länge „	$L_1 = \begin{cases} 6 \text{ zu } 1250 \ mm \\ 2 \text{ „ } 1500 \text{ „} \end{cases}$
	Blechstärke „	$\delta_1 = 14$ *mm*
Gallowayrohre:	Zahl der Gallowayrohre	$i'' = 22$ Stück
	Durchmesser	$d = 262/142$ *mm*
	Länge	$l = 850$ *mm*
	Blechstärke	$\delta_2 = 9$ „
Heizfläche:	Direkte Heizfläche	$F_1 = 5{,}073$ *qm*
	indirekte „	$F_2 = 92{,}642$ „
	gesammte „	$F = 97{,}715$ „
Wasserraum beim Versuch		$V_1 = 18{,}555$ *cbm*
Dampfraum „ „		$V_2 = 8{,}639$ „
Gesammtraum		$V = 27{,}194$ „

Verhältniss	$\frac{R_0}{R} = 0{,}208$
„	$\frac{R}{F} = 0{,}033$
„	$\frac{R}{O} = 0{,}162$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen	$f_0 = 0{,}360$ *qm*
„ vor dem Rost	$f_1 = 0{,}298$ „
„ der freien Rostfläche	$R_0 = 0{,}673$ „
„ über der Feuerbrücke	$f_2 = 0{,}288$ „
„ der engsten Rohrstelle	$f_3 = 0{,}761$ „
„ des ganzen Fuchses	$f_4 = 0{,}620$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	$f_5 = 0{,}945$ „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (94 Beobachtungen)	$f = 0{,}595$ „



Versuch XV.

Verhältniss		$V_2 : V_1 = 0{,}466$
„		$V_1 : V = 0{,}682$
„		$V_2 : V = 0{,}318$
Wasserspiegelfläche beim Versuch		$O = 19{,}97$ *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche		$O : F = 0{,}204$
Sicherheitsventile:	Anzahl	$i_2 = 2$ Stück
	Durchmesser	$d_1 = 90$ *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel		$h = 1730$ „
Speisewassereintritt unter dem Wasserspiegel		$h_1 = 1160$ „
Dampfabblaserohr:	Durchmesser	$d_3 = 40$ „
	Länge	$l_5 = 4200$ „
Ausblaserohrmündung:	Durchmesser	$d_4 = 50$ „

2. Feuerung.

System: Gewöhnliche Planrostfeuerung.

Rost:	Rostlänge	$l = 1600$ *mm*
	Rostbreite	$b = 850$ „
	Gesammte Rostfläche	$R = 3{,}23$ *qm*
	freie Rostfläche	$R_0 = 0{,}673$ „

Verhältniss	$\frac{f}{R} = 0{,}192$
„	$\frac{f_0}{R} = 0{,}112$
„	$\frac{f_1}{R} = 0{,}092$
„	$\frac{R_0}{R} = 0{,}208$
„	$\frac{f_2}{R} = 0{,}089$
„	$\frac{f_3}{R} = 0{,}236$
„	$\frac{f_4}{R} = 0{,}184$
„	$\frac{f_5}{R} = 0{,}293$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (9 Beobachtungen)	$b = 730{,}64$ *mm*
Atmosphärischer Druck	$p_b^k = 0{,}993$ *kg/qcm*

Temperatur der Luft aussen $\tau_1 = 4,5^0$
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer (16 Beobachtungen) $\tau_3 = 10,66^0$
Psychrometer: Trockenes Thermometer $\tau_4 = 12,13^0$
Luftfeuchtigkeitsgrad $\varphi = 80,5\%$
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft $G_w = 4,2$ *g*
Wetter: Meist Regen.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Knörpelkohle vom Schacht Vereinigtfeld in Oelsnitz. Korngrösse ungefähr 25 *mm*.

Preis bis auf den Hof gerechnet für 10000 *kg* 147 ℳ

2. Elementar-Analyse.

$C =$	65,96	%
$H =$	4,28	„
$O =$	5,21	„
$N =$	2,83	„
$S =$	0,69	„
Grubenfeuchtigkeit =	8,70	} 17,01 %
Hygroskop. Wasser =	8,31	
Asche =	4,02	%
Verkokungsrückstand, zusammengebacken =	62,8	„

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth $H_t = 6328$ Cal.
Calorimetrischer „ $H_c = 6547$ „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer $Z = 7,7$ Std.
Brennstoffmenge im Ganzen $ZB = 2645,5$ *kg*
„ stündlich $B = 343,57$ „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung $\frac{B}{R} = 106,37$ *kg*

Rostanstrengung $\frac{BH_c}{R} = 696404$ Cal.

Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} = 3,45$ *kg*

Heizflächenanstrengung $\frac{BH_c}{F} = 22587$ Cal.

Brennstoff auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{B}{O} = 17,20$ *kg*

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen $= 49,3$ *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu_1 = 0,0186$ „
Schlacke: Im Ganzen $= 73,85$ „
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu_2 = 0,0279$ „

Asche und Schlacke: Im Ganzen $= 123,15$ *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu = 0,0465$ „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke $\mu_0 = 0,498$ „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke $h_t = 3984$ Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_a = 0,0356$ *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_f = 0,0046$ „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 8 Einzelanalysen im Flammrohr $CO_2 = 6,93\%$
$O = 10,39$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:
Nach der Analyse $L_0 = 8,727$ *kg*
„ Welter $L'_0 = 9,644$ „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0,123$ „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 9,521$ „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr $L = 25,68$ „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 2,663$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Starker Rauch
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengas $c_0 = 0,74$ *g*
„ auf 1 *kg* Brennstoff $c = 14,8$ „
Gewicht von 1 *cbm* Russ $= 11,1$ *kg*
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff $= 0,00133$ *cbm*
Verhältniss des Russvolumens zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur $= 0,0000263$

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr:
Für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 26,63$ *kg*
Stündlich $G' = 9149,27$ „

9. Temperatur bei der Verbrennung.

Fuchstemperatur (97 Beobachtungen) $t_1 = 371,34^0$
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0,246$
„ „ „ zugeführten Luft $c'_p = 0,24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (95 Beob.) Wassersäule $h = 9,23$ *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 3,281$ *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0,0219$ *mm*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 27,73$ Cal.

F. Speisung.

Das Speisewasser wurde aus der städtischen Wasserleitung entnommen.

Die Förderung erfolgte durch den Körting'schen Injektor. Die Injektoren saugen das Wasser aus einer Zisterne, die aus 2 kommunizirenden Fässern besteht.

Das Speisen erfolgte 5 mal ungefähr 56 Minuten lang.

Wasserstand im Kessel über dem Niedrigsten (6 Beobachtungen)	Δ	$= 12$ *mm*
Wasserstand im Kessel zu Anfang des Versuchs	Δ_1	$= 12$ „
Wasserstand im Kessel zu Ende des Versuchs	Δ_2	$= 12$ „
Speisewassertemperatur im Mittel (5 Beob.)	τ_0	$= 3{,}56^0$
Speisewassermenge: Im Ganzen	ZS	$= 14654$ *kg*
Stündlich	S	$= 1903{,}11$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck	p_b	$= 0{,}993$ *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Manometer (32 Beobachtungen)	p_u	$= 5{,}6$ „
Dampfdruck zu Anfang des Versuchs	p_1	$= 4{,}0$ „
„ „ Ende „ „	p_2	$= 5{,}0$ „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0	$= 6{,}593$ „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (29 Beobachtungen)	p'	$= 0{,}0006$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	t_0	$= 161{,}64^0$
„ „ „ ausströmenden Dampfes (29 Beobachtungen)	t'_1	$= 127{,}58^0$
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u	$= 28{,}67^0$

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenen Dampf	λ_0	$= 655{,}8$ Cal.
„ des ausströmenden Dampfes	λ'_0	$= 645{,}9$ „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	$q_{\tau 0}$	$= 3{,}56$ „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e	$= 642{,}21$ „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e	$= 3550$ „

4. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge	S	$= 1903{,}11$ *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$	$= 19{,}48$ „
„ „ „ 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$	$= 5{,}54$ „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$	$= 5{,}57$ „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O}$	$= 95{,}30$ *kg*
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R}$	$= 589{,}19$ „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	w_0	$= 8{,}9$ *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F}$	$= 12483$ Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F}$	$= 22587$ „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel	φ_d	$\cong 2{,}0$ %

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	Q_r	$= 87$ Cal.
Verlust durch Bildung von CO	Q_k	$= 0$ „
„ „ „ „ CH_4	Q_m	$= 0$ „
„ „ „ „ Russ	Q_c	$= 120$ „
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c =$	Q_v	$= 120$ „
Verlust durch die abziehenden Gase	Q_g	$= 2150$ „
Nicht direkt bestimmte Verluste	Q'_o	$= 640$ „
Gesammtverlust	Q_o	$= 2997$ „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0^0	H_c	$= 6547$ Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	Q_d	$= 6125$ „

K. Wärmebilanz.

Verlust durch den Rost	Q_r	$= 87$ Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	Q_v	$= 120$ „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	Q_e	$= 3550$ „
Verlust durch die Abzugsgase	Q_g	$= 2150$ „
Nicht direkt bestimmte Verluste	Q'_o	$= 640$ „
Summe	$= H_c$	$= 6547$ Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	η_0	$= 0{,}9720$
„ der direkten Heizfläche	η'_2	$= 0{,}3$
„ der Kesselanlage	η	$= 0{,}5422$
„ bezogen auf die die disponible Wärmemenge	η_d	$= 0{,}5796$
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	η_{max}	$= 0{,}9355$

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}187$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 2{,}64$ ℳ

Versuch XVI.
Aktiengesellschaft für Glasindustrie, vormals Friedr. Siemens, Löbtau bei Dresden.

Cornwallkessel mit Generator-Gasfeuerung, untersucht am 13. Juni 1891.
Leiter: Lewicki.
Beobachter: Assist. Nacher, Stud. Richter, Meyer, Lutzschlag, Franke, Bachmann und Herrmann.
Kesselwärter: Krumbholz.
Feuermann: Poster.
Versuchszeit: 9 Stunden 28 Minuten.

A. Kesselanlage.

1. Kessel.

System: Cornwallkessel mit zwei Flammrohren.
Lage des Kessels: Der Kessel war rechts angebaut.

Hauptkessel:	Durchmesser	D	= 1650 *mm*
	Länge	L	= 5290 „
	Blechstärke	δ	= 12 „
Flammrohre:	Anzahl	i	= 2 Stück
	Durchmesser	D_1	= 620 *mm*
	Länge	L_1	= 5290 „
	Blechstärke	δ_1	= 10,5 „
Heizfläche:	Gesammte Heizfläche	F	= 38 *qm*

2. Feuerung.

System: Generator-Gasfeuerung, Patent Friedr. Siemens, Löbtau bei Dresden.

Rost des Generators:	Rostlänge	l	= 2050 *mm*
	Rostbreite	b	= 2350 „
	Gesammte Rostfläche	R	= 4,82 *qm*
	Freie „	R_0	= 2,13 „
Verhältniss		$\frac{R_0}{R}$	= 0,443
„		$\frac{R}{F}$	= 0,127

B. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Braunkohle aus Teplitz. Mittelkohle I.
Preis für 100 *kg* Brennstoff mit Fracht 83,5 ₰.

2. Heizwerth.

Calorimetischer Heizwerth $H_c = 4700$ Cal.

C. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte durch Einschaufeln in die Einschüttöffnungen. In Zwischenräumen von annähernd einer Stunde wurden jedesmal ungefähr 175 *kg* bis zur Füllung des Generators eingeschaufelt.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer des Versuches		Z	= 9,47 Stunden
Brennstoffmenge:	Im Ganzen	ZB	= 1659,5 *kg*
	Stündlich	B	= 175,3 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} = 36{,}37$ *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} = 170\,939$ Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} = 4{,}613$ *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} = 21\,618$ Cal.

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke: Im Ganzen = 99,25 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff μ = 0,0598 „

5. Temperaturen bei der Verbrennung.

Fuchstemperatur (112 Beobachtungen) $t_1 = 279{,}4^0$

D. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (43 Beob.) h = 4,6 *mm* Wassersäule

E. Speisung.

Das Speisewasser war aus der städtischen Leitung entnommen.

Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten:

Zu Anfang des Versuches	Δ_1	= 96 *mm*
„ Ende „ „	Δ_2	= 96 „
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten (40 Beobachtungen)	Δ	= 116 „
Speisewassertemperatur im Mittel (30 Beobachtungen)	τ_0	= 14,7 ⁰
Speisewassermenge: Im Ganzen	ZS	= 5655 *kg*
Stündlich	S	= 597,36 „

F. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Betrieb einer Dampfmaschine und durch theilweise Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck	p_b	= 1,03 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck (40 Beob.)	p_u	= 4,26 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	p_1	= 4,7 „
„ „ Ende „ „	p_2	= 4,75 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0	= 5,29 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (27 Beobachtungen)	p'	= 0,00414 „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	t_0	= 151,88 ⁰
„ „ des ausströmenden Dampfes (27 Beobachtungen)	t'_1	= 139,52 ⁰
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u	= 39,62 ⁰

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf	λ_0 =	652,82 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes	λ'_0 =	648,18 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	q_{t0} =	14,7 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e =	633,39 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e =	2159 „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge	S =	597,36 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$ =	15,72 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$ =	3,408 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$ =	3,389 Cal.
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R}$ =	123,93 „
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F}$ =	3623 Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F}$ =	21 681 „

G. Wärme-Bilanz.

Gesammtverlust	Q_o =	2541 Cal.
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	Q_e =	2159 „
Summe	= H_c =	4700 Cal.

H. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad der Kesselanlage η = 0,4594

I. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf P = 2,464 *M*

Versuch XVII.

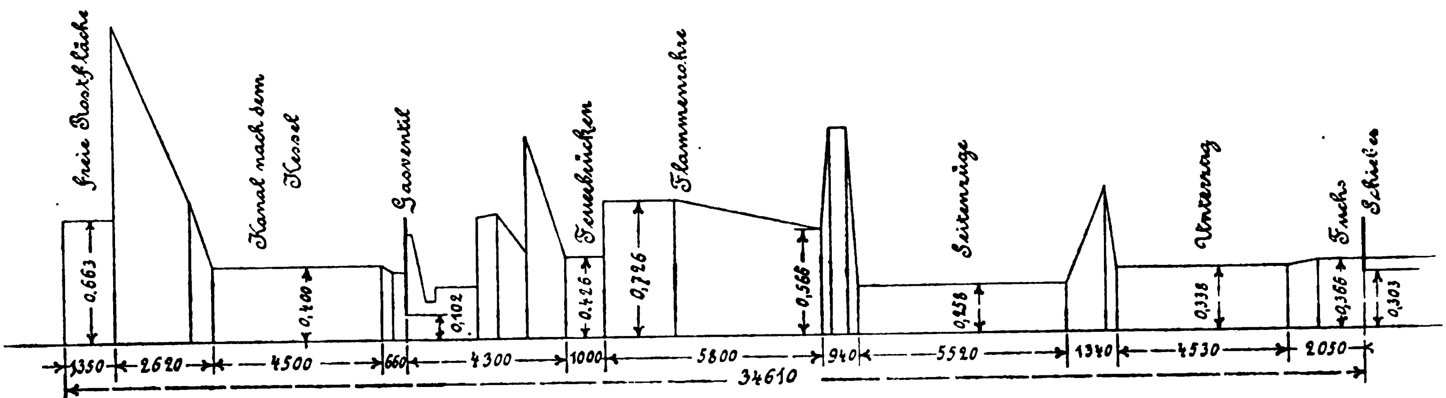
K. H. Kühne & Co., Löbtau bei Dresden.

Cornwallkessel mit Generator-Gasfeuerung, untersucht am 4. Juli 1891.
Leiter: Lewicki.
Beobachter: Assist. Hille und Naeher, Stud. Förster, Barnewitz, Bergk, Besser und Schulze.
Feuermann: Hammermüller.
Versuchszeit: 10 Stunden.

A. Kesselanlage. (Tafel XII u. XX.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cornwallkessel mit zwei Flammrohren, erbaut von J. Piedboeuf zu Aachen im Jahre 1884, konzessionirt für 6 *kg/qcm* Ueberdruck, Fabrik-Nummer 5869. Letzte Revision, innerlich am 20. November 1889, äusserlich am 30. August 1890.



Versuch XVII.

Letzte Kesselreinigung am 28. Juni 1891.
Lage des Kessels: Der Kessel war rechts angebaut.

Hauptkessel:	Durchmesser	D	= 1800 *mm*
	Länge	L	= 6600 „
	Blechstärke	δ	= 14 „
Flammrohre:	Anzahl	i	= 2 Stück
	Durchmesser	D_1	= 680 *mm*
	Länge	L_1	= 6600 „
	Blechstärke	δ_1	= 14 u. 12 *mm*
Heizfläche:	Gesammte Heizfläche	F	= 48,54 *qm*
Wasserraum beim Versuch		V_1	= 8,432 *cbm*
Dampfraum „ „		V_2	= 3,591 „
Gesammtraum „ „		V	= 12,023 „
Verhältniss		$\frac{V_2}{V_1}$	= 0,426
„		$\frac{V_1}{V}$	= 0,701
„		$\frac{V_2}{V}$	= 0,299
Wasserspiegelfläche beim Versuch		O	= 10,362 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche		$\frac{O}{F}$	= 0,213
Wasserstandsgläser: Anzahl		i_1	= 1 Stück

Sicherheitsventile: Anzahl $i_2 = 1$ Stück
Durchmesser $d_1 = 70$ *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel $h = 1000$ „
Höhe des Speisewassereintritts unter dem Wasserspiegel $h_1 = 840$ „
Dampfabblaserohr: Durchmesser $d_3 = 42$ „
Länge $l_5 = 4550$ „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser $d_5 = 50$ „

2. Feuerung.

System: Generator-Gasfeuerung, Patent Friedr. Siemens, Löbtau bei Dresden.

Rost des Gasgenerators:

Roststabdicke des schrägen Rostes	$s' =$	20	*mm*
Roststabhöhe „ „ „	$h_1 =$	200	„
Roststablänge „ „ „	$a_1 =$	440	„
Rostspaltenweite „ „ „	$s'_0 =$	75	„
Roststabdicke „ geraden „	$s =$	46	„
Roststabhöhe „ „ „	$h =$	46	„
Roststablänge „ „ „	$a =$	750	„
Rostspaltenweite „ „ „	$s_0 =$	15	„
Rostbreite	$b =$	1350	„
Gesammte Rostlänge	$l =$	1500	„
„ Rostfläche	$R =$	2,025	*qm*
Freie „	$R_0 =$	0,663	„

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0,327$

„ $\frac{R}{F} = 0,0417$

„ $\frac{R}{O} = 0,195$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

a) Gasgenerator.

Querschnitt vor dem Rost	$f_1 =$	2,192	*qm*
„ der freien Rostfläche	$R_0 =$	0,663	„
„ über der Feuerbrücke	$f'_2 =$	0,400	„
„ des Gaskanals bis zum Gasventil	$f_6 =$	0,400	„
„ „ Gasventils	$f_7 =$	0,360	„
Mittlerer Querschnitt des Gasventils beim Versuch (17 Beobachtungen)	$f_8 =$	0,102	„
Mittlerer Querschnitt der Zugführung bis zum Gasventil	$f_9 =$	0,597	„

b) Kessel.

Querschnitt für die primäre Luftzuführung	$f_0 =$	0,295	*qm*
„ über der Feuerbrücke	$f_2 =$	0,426	„
„ der engsten Rohrstelle	$f_3 =$	0,566	„
„ des ganzen Fuchses	$f_4 =$	0,366	„
Mittlerer Querschnitt vom Gasventil bis zum Schieber	$f'_5 =$	0,459	„
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	$f_5 =$	0,480	„
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (41 Beobachtungen)	$f =$	0,303	„

Verhältniss $\frac{f_0}{R} = 0,146$

Verhältniss $\frac{f}{R} = 0,150$

„ $\frac{f_1}{R} = 1,082$

„ $\frac{R_0}{R} = 0,327$

„ $\frac{f'_2}{R} = 0,197$

„ $\frac{f_2}{R} = 0,210$

„ $\frac{f_3}{R} = 0,280$

„ $\frac{f_4}{R} = 0,181$

„ $\frac{f'_5}{R} = 0,227$

„ $\frac{f_5}{R} = 0,237$

„ $\frac{f_6}{R} = 0,197$

„ $\frac{f_7}{R} = 0,177$

„ $\frac{f_8}{R} = 0,0503$

„ $\frac{f_9}{R} = 0,294$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (21 Beobachtungen)	$b =$	750,6	*mm*
Atmosphärischer Druck	$p_b =$	1,021	*kg/qcm*
Temperatur der Luft: Aussen (21 Beob.)	$\tau_1 =$	22,1 °	
Innen (angen.)	$\tau_2 = \tau_1 =$	22,1 °	
Psychrometer: Befeuchtetes Thermometer (21 Beob.)	$\tau_3 =$	18,7 °	
Trockenes Thermometer (21 Beob.)	$\tau_4 =$	20,9 °	
Luftfeuchtigkeitsgrad	$\varphi =$	79,8 %	
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft	$G_w =$	15,7 *g*	

Wetter: Himmel bedeckt, vormittags Regen, nachmittags aufklärend.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Braunkohle aus dem Wenzelschacht bei Teplitz, Mittelkohle I.

Preis für 100 *kg* Brennstoff = 0,39 *M*.
Fracht „ 100 „ „ = 46,57 *Pf*.
Anfuhre „ 100 „ „ = 10,00 „

2. Elementaranalyse.

$C = 51,11$ %
$H = 4,50$ „
$O =$, $N =$ } $= 9,92$ %
$S = 1,05$ %
Grubenfeuchtigkeit $= 12,4$ „

Hygrosk. Wasser	=	15,15 %
Asche	=	5,87 „
Verkokungsrückstand, sandig	=	39,7 „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth	H_t =	4946 Cal.
Calorimetrischer „	H_c =	4794 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte durch Einschaufeln in die Einschüttöffnungen. In Zwischenräumen von annähernd einer Stunde wurden jedesmal ungefähr 240 *kg* bis zur Füllung des Generators eingeschaufelt.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer des Versuches	Z =	10,00 Stunden
Brennstoffmenge: Im Ganzen	ZB =	2401,3 *kg*
Stündlich	B =	240,13 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$\frac{B}{R} = 118{,}58$ *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} = 568486$ Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} = 4{,}947$ *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} = 23716$ Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} = 23{,}174$ *kg*

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke: Im Ganzen	=	378,3 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	μ =	0,1575 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	μ_0 =	0,4164 „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke	h_t =	3331 Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	μ_a =	0,0919 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	μ_f =	— 0,0332 „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 14 Einzelanalysen im Flammrohr	CO_2 =	10,78 %
	O =	6,66 „
Durchschnitt aus 7 Einzelanalysen im Fuchs	CO_2 =	9,93 „
	O =	8,03 „
Der Durchschnitt, während der Dauer des Versuches entnommen, ergab im Flammrohr und im Fuchs	CO =	0,20 „
	CH_4 =	0,10 „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Nach der Analyse	L_0 =	6,936 *kg*
„ Welter	L'_0 =	7,295 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	l_0 =	0,735 *kg*
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0$ =	6,560 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff: Im Flammrohr	L =	12,23 „
„ Fuchs	L' =	13,25 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge: Im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m'$ =	1,676
„ Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m$ =	1,816
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	L_1 =	1,02 „
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	m_0 =	0,140

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Zuweilen sehr schwacher Rauch.
Russmenge in 1 *cbm* Bürettengase $c_0 \cong 0$.

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr: Für 1 *kg* Brennstoff	G'_0 =	13,07 *kg*
Stündlich	G' =	3138,50 „
Gasmenge im Fuchs: Für 1 *kg* Brennstoff	G_0 =	14,09 „
Stündlich	G =	3393,43 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (4 Beobachtungen)	t_3 =	1086°
„ (berech.)	t'_3 =	1187°
Fuchstemperatur (120 Beobachtungen)	t_1 =	354°
Temperatur der Gase im Generator vor der Feuerbrücke (27 Beobachtungen)	t_2 =	190°
Temperatur der Luft vor der Mischung mit den Generatorgasen (7 Beob.)	t_4 =	46,5
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs	c_p =	0,246
„ „ „ zugeführten Luft	c'_p =	0,24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (41 Beob.)	h =	12,2 *mm* Wassersäule
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	w =	1,028 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	c =	0,0257 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit in den Zügen	w_m =	1,702 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_l =	65 Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_b =	5,4 „

F. Speisung.

Das Speisewasser war aus der Weiseritz entnommen.

Die Förderung geschah beim Gang der Maschine durch eine Speisepumpe, beim Stillstand durch einen Injektor.

Die Messung erfolgte durch ein Reservoir, welches durch Einwiegen von 500 *kg* Speisewasser geaicht wurde; die Ablesungen wurden durch einen Schwimmer gemacht. Aus dem Messgefäss wurde das Wasser durch einen Hahn in ein Gefäss abgelassen, aus welchem die Förderung geschah.

Das Speisen erfolgte 21 mal, ungefähr 13 Minuten lang, in Pausen von annähernd 14 Minuten.

Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten:

Zu Anfang des Versuches	Δ_1	= 62	*mm*
„ Ende „ „	Δ_2	= 62	„
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten (23 Beobachtungen)	Δ	= 57,2	„
Speisewassertemperatur im Mittel (21 Beob.)	τ_0	= 17,0 °	
Speisewassermenge: Im Ganzen	ZS	= 10500	*kg*
Stündlich	S	= 1050	„

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Betrieb einer Dampfmaschine und durch theilweise Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck	p_b	= 1,021	*kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck nach dem Druckschreiber	p_u	= 5,4	„
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	p_1	= 4,9	„
„ „ Ende „ „	p_2	= 5,2	„
Absoluter mittlerer Dampfdruck	p_0	= 6,421	„
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (18 Beob.)	p'	= 0,00074	„

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	t_0	= 160,60 °
„ „ des ausströmenden Dampfes (17 Beobachtungen)	t'_1	= 129,4 °
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	t_u	= 29,7 °

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme für 1 *kg* trockenen Dampf	λ_0	= 655,48	Cal.
„ des ausströmenden Dampfes	λ'_0	= 646,50	„
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	$q_{\tau 0}$	= 17,0	„
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	λ_e	= 629,37	„
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	Q_e	= 2752	„

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge	S	= 1050	*kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F}$	= 21,632	„
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B}$	= 4,373	„
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B}$	= 4,321	„
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O}$	= 101,33	*kg*
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R}$	= 518,52	„
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	w_0	= 5,7	*mm*

Wärmetransmission der Heizfläche:

Stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F}$	= 13615	Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F}$	= 23716	„

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong 1,8$ %

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	Q_r	= 525	Cal.
Verlust durch Bildung von CO	Q_k	= 62	„
„ „ „ „ CH_4	Q_m	= 91	„
„ „ „ „ Russ	Q_c	≅ 0	„
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	Q'_a	= 126	„
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c$	$= Q_v$	= 153	„
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	Q''_a	= 84	„
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	Q_a	= 210	„
Verlust durch die Beiluft	Q_b	= 81	„
„ „ „ abziehenden Gase	Q_f	= 1154	„
Gesammtverlust	Q_o	= 2042	„

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0 °	H_c	= 4794	Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	Q_d	= 4469	„

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	Q_r	= 525	Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	Q_v	= 153	„
„ „ äussere Abkühlung der Feuerung	Q'_a	= 126	„
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	Q_e	= 2752	„
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	Q''_a	= 84	„
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	Q_b	= 81	„
Verlust durch die Abzugsgase	Q_g	= 1073	„
Summe	$= H_c$	= 4794	Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	η_0	= 0,8906
„ der Verbrennung	η'_0	= 0,9642
„ „ Einhüllung der Feuerung	η'_a	= 0,9693
„ „ direkten Heizfläche	η'_2	= 0
„ „ Feuerung	η_1	= 0,8324
„ „ indirekten Heizfläche	η''_2	= 0,6898

10*

Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_{II} =	0,9186
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	η''_a =	0,9790
„ „ Dichtung gegen Beiluft	η_b =	0,9797
„ „ Gasabführung	η_g =	0,7311
„ des Kessels	η_2 =	0,6898
„ der Kesselanlage	η =	0,5741
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	η_{max} =	0,9322
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	η_d =	0,6158

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes $K = 0{,}305$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf $P = 2{,}212$ ℳ

Versuch XVIII und XIX.
Dresdener Gasfabrik bei Reick.

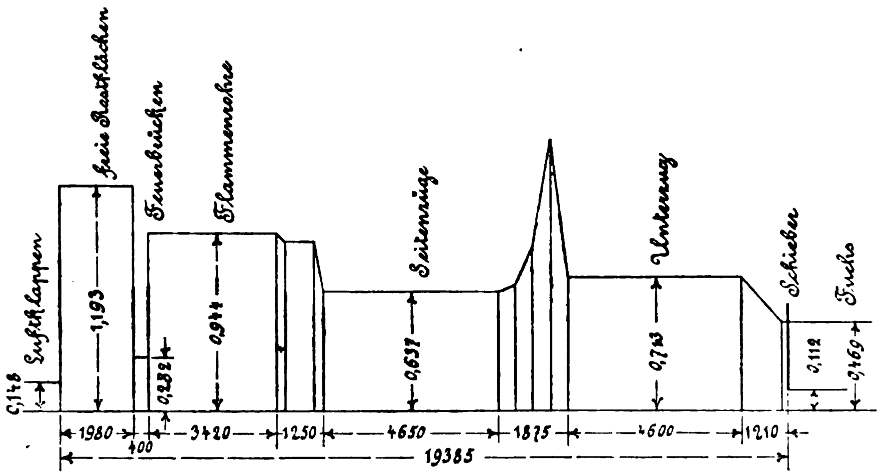
Zweiflammrohr-Kessel, untersucht am 30. Januar und am 6. Februar 1892.

Leiter der Versuche: Lewicki.

Beobachter: Versuch XVIII: Assist. Naeher, Hille, Baltabol, Stud. Reuter, Engelhardt, Chappuis, Züblin, Weiss, Loeser, Besser.
Versuch XIX: Assist. Naeher, Hille, Baltabol, Stud. Kochansky, Herrmann, Scharff, Loeser, Hasse, Sikorski, Barnewitz.

Feuermann: Oskar Berndt.

Versuchszeit: Versuch XVIII: 10 Stunden 2 Minuten.
„ XIX: 10 „ 4 „



Versuch XVIII und XIX.

A. Kesselanlage. (Tafel XIII.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cornwallkessel mit Planrost, erbaut von H. Böhme in Plauen im Jahre 1891. Fabrik-Nummer 258. Der Kessel war für 5 *kg/qcm* Ueberdruck konzessionirt. Vor den Versuchen war derselbe noch nicht im Betrieb gewesen. Der Kessel war der dritte von den aufgestellten Kesseln auf der rechten Seite. Die Nebenkessel waren im Betrieb und wurden mit Abfallkok gefeuert.

Lage des Kessels: Der Kessel war an zwei andere angebaut.

Hauptkessel: Durchmesser	D	=	2000 *mm*
Länge	L	=	5830 „
Blechstärke	δ	=	13 „
Flammrohre: Zahl der Flammrohre:	i	=	2 Stück
„ „ Schüsse	i'	=	2 „
Durchmesser der Schüsse	D_1	=	775 *mm*
Länge „ „	L_1	=	2910 „
Blechstärke	δ_1	=	11 „
Heizfläche: Direkte Heizfläche	F_1	=	11,2 *qm*
Indirekte „	F_2	=	33,13 „
Gesammte „	F	=	44,33 „

			Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Wasserraum beim Versuch	V_1	=	8,56 *cbm*	8,81 *cbm*
Dampfraum „ „	V_2	=	4,46 „	4,21 „
Gesammtraum	V	=	13,02 „	13,02 „
Verhältniss	$V_2 : V_1$	=	0,521	0,477
„	$V_1 : V$	=	0,657	0,677
„	$V_2 : V$	=	0,343	0,323
Wasserspiegelfläche beim = Versuch	O	=	10,353 *qm*	10,208 *qm*
Wasserspiegelfläche: Heiz- = fläche	$O : F$	=	0,234	0,230

Sicherheitsventile: Anzahl	i_2	=	2 Stück
Durchmesser	d_1	=	90 *mm*
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	h	=	730 „
Dampfabblaserohr: Durchmesser	d_3	=	57 „
Länge	l_5	=	7200 „
Ausblaserohrmündung: Durchmesser	d_5	=	70 *mm*
Ventilerhebung beim Versuch	h_2	=	6,2 „

2. Feuerung.

System: Planrost.

Rost: Roststabdicke	s	=	10 *mm*
Roststabhöhe	h	=	60 „

Roststablänge	a	= 495	mm
Rostspaltenweite	s_0	= 10	„
Rostbreite	b	= 775	„
Rostlänge	l	= 1800	„
Gesammte Rostfläche	R	= 3,069	qm
Freie Rostfläche	R_0	= 1,193	„
Verhältniss	$\frac{R_0}{R}$	= 0,389	
„	$\frac{R}{F}$	= 0,069	
„	$\frac{R}{O}$	= 0,296	0,301

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen	f_0	= 0,148	qm
„ „ freien Rostfläche	R_0	= 1,193	„
„ über der Feuerbrücke	f_2	= 0,282	„
„ der engsten Rohrstelle	f_3	= 0,944	„
„ des ganzen Fuchses	f_4	= 0,469	„
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	f_5	= 0,798	„
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch (12 Beobachtungen)	f	= 0,112	„
Verhältniss	$\frac{f}{R}$	= 0,036	
„	$\frac{f_0}{R}$	= 0,048	
„	$\frac{R_0}{R}$	= 0,389	
„	$\frac{f_2}{R}$	= 0,092	
„	$\frac{f_3}{R}$	= 0,308	
„	$\frac{f_4}{R}$	= 0,153	
„	$\frac{f_5}{R}$	= 0,260	

B. Aeussere Zustände.

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Barometerstand	b	= 748 mm	741,1 mm
Beobachtungen		= 15	11
Atmosphärischer Druck	p_b	= 1,024 kg/qcm	1,008 kg/qcm
Temperatur der Luft, aussen	τ_1	= 9,56 °	4,86 °
im Kesselhaus	τ_2	= 13,16 °	15,65 °
Beobachtungen	(τ_1)	= 12	11
„	(τ_2)	= 40	42
Psychrometer:			
Befeuchtetes Thermometer	τ_3	= 15,65 °	11,71 °
Trockenes „	τ_4	= 19,30	15,65
Beobachtungen		= 40	42
Luftfeuchtigkeitsgrad	φ	= 67 %	60,7 %
Wassergehalt in 1 cbm Luft	G_w	= 6,2 g	4,2 g

Wetter: Versuch XVIII: Bewölkt, feiner Regen, starker W.-Wind.

„ „ XIX: Bewölkt, kein Regen, W.-Wind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart: Für Versuch XVIII: Koke aus Burgker und Zwickau-Oberhohndorfer Steinkohle, Korngrösse, nuss- bis halbfaustgross.

Gewicht für 1 *hl* Koke = 44 *kg*, Preis für 1 *hl* Koke = 60 *Pfg.*

Für Versuch XIX: Reiner Gaskok, halbfaustgrosse Stücke, gewonnen aus schlesischer Steinkohle.

Gewicht für 1 *hl* Koke = 43,4 *kg*, Preis für 1 *hl* Koke = 60 *Pfg.*

2. Elementaranalysen.

	Vers. XVIII.		Vers. XIX.	
C =	70,03 %		83,39 %	
H =	0,39 „		0,29 „	
O =, N =	0,44 „		1,91 „	
S =	1,36 „		0,68 „	
Grubenfeuchtigkeit =	2,80 „	4,45 %	2,30 „	5,87 %
Hygroskop. Wasser =	1,65 „		3,57 „	
Asche =	23,33 „		7,86 „	

3. Heizwerthe.

		XVIII	XIX
Theoretischer Heizwerth	H_t	= 5775 Cal.	6752 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth	H_c	= 5414 „	—

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand und zwar so, das die Kohle abwechselnd einmal auf die linke und einmal auf die rechte Seite des Rostes geworfen wurde. Es waren im Ganzen

Beschickungen	75	113
zu	6,4 Schaufeln	3,73 Schauf.

2. Brennstoffmenge.

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Zeitdauer	Z	= 10,03 Std.	10,07 Std.
Brennstoffmenge:			
Im Ganzen	ZB	= 1386 kg	1113,45 kg
Stündlich	B	= 138,13 „	110,61 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung	$B:R$	= 45,01 kg	36,04 kg
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R}$	= 243 684 Cal.	243 342 Cal.
Heizflächenbelastung	$B:F$	= 3,12 kg	2,50 kg
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F}$	= 16 892 Cal.	16 880 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 qm Spiegelfläche	$B:O$	= 13,34 kg	10,68 kg

4. Herdrückstände.

Asche: Im Ganzen		= 95,95 kg	23,03 kg
Für 1 kg Brennstoff	μ_1	= 0,0692 „	0,0207 „
Schlacke: Im Ganzen		= 166 „	54,26 „
Für 1 kg Brennstoff	μ_2	= 0,1198 „	0,0487 „

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Asche und Schlacke:			
Im Ganzen	=	261,95 *kg*	77,29 *kg*
Für 1 *kg* Bennstoff	μ =	0,1890 „	0,0694 „
Verbrennliches in 1 *kg*			
Asche und Schlacke μ_0	$\mu_0{}^a$ =	0,1815 „	0,1760 „
	$\mu_0{}^s$ =	0,1905 „	0,0845 „
Theoretischer Heizwerth der Asche			
und Schlacke h_t	$h_t{}^a$ =	1452 Cal.	1408 Cal.
	$h_t{}^s$ =	1524 „	676 „
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	μ_a =	0,1537 *kg*	0,0617 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	μ_f =	0,0796 „	0,0169 „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 21 Einzelanalysen im Flammrohr links	CO_2 =	9,92 %	17,4 %
	O =	10,14 „	2,36 „
	CO =	0,02 „	—
Durchschnitt aus 21 Einzelanalysen im Fuchs	CO_2 =	9,49 „	12,72 „
	O =	10,38 „	6,95 „
Der Durchnitt, während der Dauer des Versuchs entnommen, ergab im Flammrohr	CO =	0,02 „	0,4 „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:			
Nach der Analyse	L_0 =	8,098 *kg*	9,485 *kg*
„ Welter	L'_0 =	7,652 „	—
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	l_0 =	0,387 „	0,087 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0$ =	7,265 „	9,398 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:			
Im Flammrohr	L =	16,04 „	12,0 „
„ Fuchs	L' =	16,76 „	15,75 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge:			
Im Flammrohr	$\frac{L}{L'_0} = m'$ =	2,096	1,265
„ Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m$ =	2,191	1,660
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	L_1 =	0,725 „	3,75 „
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	m_0 =	0,094	0,395

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Kein Rauch.

8. Gasmengen.

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Gasmengen im Flammrohr:			
Für 1 *kg* Brennstoff	G'_0 =	16,77 *kg*	12,91 *kg*
Stündlich	G' =	2316,44 „	1427,98 „
Gasmenge im Fuchs:			
Für 1 *kg* Brennstoff	G_0 =	17,50 „	16,66 ,
Stündlich	G =	2417,28 „	1842,76 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Gluthtemperatur (berech.)	t'_3 =	1192°	1614°
Fuchstemperatur	t_1 =	298,05°	250,7°
Beobachtungen	=	120	122
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs	c_p =	0,246	0,246
Spezifische Wärme der zugeführten Luft	c'_p =	0,24	0.24

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber Wassersäule	h =	3,07 *mm*	5,24 *mm*
Beobachtungen	=	45	41
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten	w =	0,591 *m*	0,376 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit	c =	0,009 *mm*	0,007 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit der Gase in den Zügen	w_m' =	1,143 *m*	0,928 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff	Q'_l =	36,802 Cal.	13,996 Cal.
Wärmemenge in der Beiluft	Q'_b =	1,663 „	4,374 „

F. Speisung.

Die Förderung erfolgte durch einen Injektor. Das Speisewasser wurde aus einem Behälter entnommen, der mit Grundwasser gespeist wurde. Von diesem wurde durch Wasserleitung das Wasser in die Messtonne geführt. Letztere stand auf der Wage und war am Boden mit einem mit Hahn zu verschliessenden Ablauf versehen, von dem aus es in die Cisterne strömte, aus der der Injektor saugte.

Das Speisen erfolgte		24 mal	27 mal
in der Dauer von ungefähr		13,37 Min.	11,5 Min.
Wasserstand im Kessel zu Anfang des Versuches	Δ_1 =	45 *mm*	59 *mm*
Wasserstand im Kessel zu Ende des Versuches	Δ_2 =	45 „	59 „
Mittlerer Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten	Δ =	35 „	56,8 „
Beobachtungen	=	122	42
Speisewassertemperatur im Mittel	τ_0 =	13,82°	14,4°
Beobachtungen	=	57	63
Speisewassermenge:			
Im Ganzen	ZS =	8231 *kg*	8857,5 *kg*
Stündlich	S =	820,37 „	879,8 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Atmosphärischer Druck	$p_b =$	1,024 *kg/qcm*	1,008 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck	$p_u =$	3,766 „	4,11 „
Beobachtungen	=	122	122
Dampfdruck zu Anfang des Versuches	$p_1 =$	3,7 „	3,9 „
Dampfdruck zu Ende des Versuches	$p_2 =$	3,7 „	3,9 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck	$p_0 =$	4,790 „	5,118 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes	$p' =$	0,0041 „	0,0051 „
Beobachtungen	=	39	39

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel	$t_0 =$	149,38 ⁰	151,86 ⁰
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes	$t'_1 =$	118,93 ⁰	120,24 ⁰
Beobachtungen	=	33	39
Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes	$t_u =$	19,10 ⁰	20,81 ⁰

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme von 1 *kg* trockenem Dampf	$\lambda_0 =$	652,06 Cal.	652,82 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes	$\lambda'_0 =$	643,795 „	644,254 „
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge	$q_{w0} =$	13,82 „	14,4 „
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf	$\lambda_e =$	629,88 „	629,78 „
Wärmemenge, die von 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde	$Q_e =$	3741 „	5009 „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge	$S =$	820,37 *kg*	879,8 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche	$\frac{S}{F} =$	18,51 „	19,85 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff	$\frac{S}{B} =$	5,94 „	7,95 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf	$\frac{S_n}{B} =$	5,87 „	7,86 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{S}{O} =$	79,24 „	86,19 „

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Rostfläche	$\frac{S}{R} =$	267,30 *kg*	286,67 *kg*
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit	$w_0 =$	8,57 *mm*	8,76 *mm*
Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm*	$\lambda_e \frac{S}{F} =$	11657 Cal.	12499 Cal.
Anstrengung der Heizfläche	$\frac{BH_c}{F} =$	16892 „	16880 „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel	$\varphi_d \cong$	1,6 %	1,7 %

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	$Q_r =$	283 Cal.	62 Cal.
Verlust durch Bildung von CO / „ „ „ von CH_4	$Q_k = \}$ $Q_m = \}$	5 „	71 „
„ „ „ „ Russ	$Q_c \cong$	0 „	0 „
„ „ äussere Abkühlung des Feuerherdes	$Q'_a =$	28,15 „	120,18 „
Verlust durch unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	5 „	71 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	112,58 „	480,74 „
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung	$Q_a =$	140,73 „	600,92 „
Verlust durch die Beiluft	$Q_b =$	81,48 „	246,31 „
„ „ „ abziehenden Gase	$Q_f =$	1244,27 „	1009,08 „
Gesammtverlust	$Q_o =$	1673,0 „	1743,0 „

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0⁰	$H_c =$	5414 Cal.	6752 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$Q_d =$	5102 „	6363 „

K. Wärme-Bilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	283 Cal.	62 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	5 „	71 „
Verlust durch äussere Abkühlung der Feuerung	$Q'_a =$	28,15 „	120,18 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	3741 „	5009 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Kessels	$Q''_a =$	112,58 „	480,74 „
Verlust durch innere Abkühlung des Kessels	$Q_b =$	81,48 „	246,31 „
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1162,79 „	762,77 „
Summe =	$H_c =$	5414,00 Cal.	6752,00 Cal.

L. Wirkungsgrade.

		Vers. XVIII.	Vers. XIX.
Wirkungsgrad des Rostes	η_0 =	0,9477	0,9908
„ der Verbrennung	η'_0 =	0,9990	0,9894
Wirkungsgrad der Einhüllung der Feuerung	η'_a =	0,9945	0,9819
Wirkungsgrad der direkten Heizfläche	η'_2 =	0,3	0,3
Wirkungsgrad der Feuerung	η_1 =	0,9416	0,9626
Wirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_2 =	0,6197	0,6727
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche	η''_{II} =	0,9387	0,9401
Wirkungsgrad der Einhüllung des Kessels	η''_a =	0,9779	0,9260
Wirkungsgrad der Dichtheit gegen Beiluft	η_b =	0,9840	0,9621
Wirkungsgrad der Gasabführung	η_g =	0,7719	0,8826
Wirkungsgrad des Kessels	η_2 =	0,7338	0,7707
Wirkungsgrad der Kesselanlage	η =	0,6910	0,7419
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	η_{max} =	0,9424	0,9424
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	η_d =	0,7332	0,7872

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes K = 0,333 0,667

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf P = 2,323 ℳ, 1,759 ℳ.

Versuch XX, XXI und XXII. Reparatur-Werkstatt, Bayrischer Bahnhof zu Leipzig.

Kombinirter Walzenkessel mit Schulz-Röber-Feuerung, untersucht am 24., 25. und 26. März 1892.

Leiter: Lewicki.

Beobachter: Assist. Hille, Naeher und Baltabol, Stud Besser, Engelhardt, Benisch und Pawlikowski

Feuermann: Draber.

Versuchszeit: Versuch XX: 9 Stunden 33 Minuten.
„ XXI: 10 „ 21 „
„ XXII: 10 „ — „

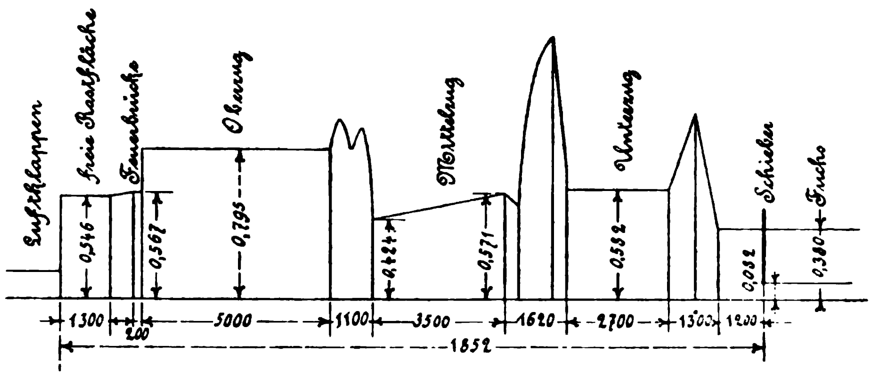
A. Kesselanlage. (Tafel XIV u. XXI.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Cylindrischer Hauptkessel, welcher mit zwei Siederohren verbunden ist; erbaut von W. Held in Löbtau bei Dresden im Jahre 1867 für 5 kg/qcm Ueberdruck und mit Schulz-Röber-Feuerung versehen im Jahre 1880.

Lage des Kessels: Der Kessel stand isolirt.

Hauptkessel: Durchmesser	D =	1254 mm
Länge	L =	7000 „
Blechstärke	δ =	13 „



Versuch XX, XXI und XXII.

Siederohre:	Anzahl	i_0 =	2 Stück
	Durchmesser	D' =	610 mm
	Länge	L' =	6100 „
	Blechstärke	δ' =	10 „
Heizfläche:	Direkte Heizfläche	F_1 =	1,094 qm
	Indirekte „	F_2 =	31,074 „
	Gesammte „	F =	32,168 „

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Wasserraum beim Versuch	V_1 =	10,430 cbm	10,402 cbm	10,430 cbm
Dampfraum beim Versuch	V_2 =	2,617 „	2,645 „	2,617 „
Gesammtraum	V =	13,047 „	13,047 „	13,047 „
Verhältniss	$\frac{V_2}{V_1}$ =	0,251	0,254	0,251
„	$\frac{V_1}{V}$ =	0,799	0,797	0,799
„	$\frac{V_2}{V}$ =	0,200	0,203	0,200
Wasserspiegelfläche beim Versuch	O =	8,866 qm	8,894 qm	8,866 qm
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$\frac{O}{F}$ =	0,276	0,276	0,276

Wasserstandsgläser: Anzahl	$i_1 = 1$ Stück		
Sicherheitsventile: „	$i_2 = 2$ „		
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	$h = 1300$ *mm*		
Dampfabblaserohr: Durchmesser	$d_3 = 51$ „		
Länge	$l_5 = 5100$ „		
Ausblaserohrmündung: Durchmesser	$d_5 = 70$ „		
Ventilerhebung beim Versuch	$h_2 = 1{,}40$ *mm*	1,87 *mm*	1,86 *mm*

2. Feuerung.

System: Unterfeuerung mit schrägem Rost.
Patent von Schulz und Röber.

Rost: Roststabdicke	$s = 19$ *mm*	16,5 *mm*	und 13 *mm*
Roststabhöhe	$h = 75$ *mm*		
Roststablänge im Mittel	$a = 1195$ „		
Rostspaltenweite im Mittel	$s_0 = 7$ „		
Rostbreite	$b = 1600$ „		
Rostlänge	$l = 1195$ „		
Gesammte Rostfläche	$R = 1{,}91$ *qm*		
Freie „	$R_0 = 0{,}546$ „		
Verhältniss:	$\frac{R_0}{R} = 0{,}286$		
„	$\frac{R}{F} = 0{,}0594$		
„	$\frac{R}{O} = 0{,}215$	0,215	0,215

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnung	$f_0 = 0{,}142$ *qm*	0,070 *qm*	0,055 *qm*
Querschnitt vor dem Rost	$f_1 = 1{,}312$ *qm*		
„ der freien Rostfläche	$R_0 = 0{,}546$ „		
„ über der Feuerbrücke	$f_2 = 0{,}567$ „		
„ der engsten Kanalstelle	$f_3 = 0{,}424$ „		
„ des ganzen Fuchses	$f_4 = 0{,}380$ „		
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung	$f_5 = 0{,}680$ „		
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch: Anzahl der Beobachtungen	$= 116$	128	124
	$f = 0{,}082$ *qm*	0,086 *qm*	0,074 *qm*
Verhältniss	$\frac{f_0}{R} = 0{,}0743$	0,0366	0,0288
„	$\frac{f}{R} = 0{,}0429$	0,0450	0,0387
„	$\frac{f_1}{R} = 0{,}687$		
„	$\frac{R_0}{R} = 0{,}286$		
„	$\frac{f_2}{R} = 0{,}297$		
„	$\frac{f_3}{R} = 0{,}222$		
„	$\frac{f_4}{R} = 0{,}199$		
„	$\frac{f_5}{R} = 0{,}356$		

B. Aeussere Zustände.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Barometerstand: Anzahl der Beobachtungen	= 39	11	10
b	= 757,1 *mm*	755,2 *mm*	747,0 *mm*
Atsmosphärischer Druck p_b	= 1,029 *kg/qcm*	1,027 *kg/qcm*	0,983 *kg/qcm*
Temperatur der Luft: Anzahl der Beob.	= 39	11	10
Aussen τ_1	= 6,0°	8,3°	14,1°
Innen $\tau_2 = \tau_1$	= 6,0°	8,3°	14,1°
Psychrometer: Anzahl der Beob.	= 39	42	41
Befeuchtetes Thermometer τ_3	= 3,0°	5,0°	10,0°
Trockenes Thermometer τ_4	= 4,7°	7,1°	14,2°
Luftfeuchtigkeitsgrad φ	= 53,6 %	65,8 %	56,0 %
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft: G_w	= 4,0 *g*	5,7 *g*	6,9 *g*

Wetter:

Versuch XX: Vormittags heiter, schwacher West-Wind, gegen Abend bedeckt, schwacher Nord-West-Wind.

Versuch XXI: Vormittags trübe, Südwind, Nachmittags schön, Ost-Wind.

Versuch XXII: Vormittags schön, Süd-Wind, Nachmittags veränderlich, Süd-West-Wind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoffart:

Für Versuch XX und XXI: $^2/_3$ Gewichtsteile Steinkohle und $^1/_3$ Braunkohle.

Die Steinkohle war Grusskohle aus dem Forstschacht bei Zwickau, Preis für 100 *kg* = 75 ₰, Fracht bis Leipzig = 40,7 ₰, Anfuhr 2 ₰.

Die Braunkohle war Nusskohle aus dem Unionschacht bei Meuselwitz, Preis für 100 *kg* = 24,6 ₰, Fracht bis Leipzig = 19,5 ₰, Anfuhr 2,1 ₰.

Für Versuch XXII: Steinkohle, Burgker Schmiedekohle, Preis für 100 *kg* = 100 ₰, Fracht bis Leipzig = 40 ₰, Anfuhr = 2 ₰.

2. Elementaranalysen.

C	= 49,27 %	48,66 %	65,15 %
H	= 4,48 „	4,34 „	5,90 „
O	= 10,99 „	11,70 „	8,18 „
N	= 1,22 „	1,23 „	1,82 „
S	= 1,18 „	1,26 „	1,47 „
Grubenfeuchtigkeit	= 20,02 „	21,00 „	2,05 „
Hygrosk. Wasser	= 6,56 „	5,81 „	3,53 „
Asche	= 6,28 „	6,00 „	11,90 „

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth H_t	= 4764 Cal	4646 Cal.	6696 Cal.
Calorimetrischer Heizwerth H_c	= 5046 „	4986 „	6430 „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte durch einen Schrauben-Apparat, welcher die Kohlen aus dem Fülltrichter auf den Rost förderte.

Der Apparat war in Thätigkeit:

Versuch XX:	6 mal	ungefähr	69	Minuten lang,
„ XXI:	7 „	„	72	„ „
„ XXII:	7 „	„	73	„ „

2. Brennstoffmenge.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Zeitdauer des Versuches	$Z =$	9,55 Std.	10,35 Std.	10,0 Std.
Brennstoffmenge:				
Im Ganzen	$ZB =$	1201 *kg*	1490,1 *kg*	1007,3 *kg*
Stündlich	$B =$	125,74 „	143,97 „	100,73 „

3. Belastungen und Anstrengungen.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Rostbelastung	$\frac{B}{R} =$	65,832 *kg*	75,377 *kg*	52,738 *kg*
Rostanstrengung	$\frac{BH_c}{R} =$	332191 Cal.	375830 Cal.	339107 Cal.
Heizflächenbelastung	$\frac{B}{F} =$	3,909 *kg*	4,476 *kg*	3,131 *kg*
Heizflächenanstrengung	$\frac{BH_c}{F} =$	19724 Cal.	22315 Cal.	20135 Cal.
Brennstoffmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche	$\frac{B}{O} =$	14,182 *kg*	16,187 *kg*	11,361 *kg*

4. Herdrückstände.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Asche: Im Ganzen	$=$	—	—	34,92 *kg*
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_1 =$	—	—	0,0347 „
Schlacke: Im Ganzen	$=$	—	—	44,56 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_2 =$	—	—	0,0442 „
Asche und Schlacke:				
Im Ganzen	$=$	85,52 *kg*	37,38 *kg*	79,48 „
Für 1 *kg* Brennstoff	$\mu =$	0,0712 „	0,0251 „	0,0789 „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke	$\mu_0 =$	0,2368 „	0,3892 „	0,1569 „
Theoretischer Heizwerth der Asche u. Schlacke	$h_t =$	1894 Cal.	3114 Cal.	1255 Cal.
In der Asche u. Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_a =$	0,0543 *kg*	0,0162 *kg*	0,0667 *kg*
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff	$\mu_f =$	0,0085 „	0,0438 „	0,0523 „

5. Rauchgasanalysen.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Zug:				
Anzahl	$=$	18	20	18
CO_2	$=$	9,13 %	9,5 %	9,97 %
O	$=$	9,6 „	10,7 „	8,38 „
Durchschnitt aus Einzelanalysen im Fuchs:				
Anzahl	$=$	21 %	16 %	17 %
CO_2	$=$	8,74 „	6,98 „	10,31 „
O	$=$	9,94 „	11,7 „	7,94 „
Der Durchschnitt, während der Dauer des Versuches entnommen, ergab im Zug CO	$=$	0 „	0 „	0,2 „
CH_4	$=$	0 „	0,1 „	0 „

6. Luftmengen.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:				
Nach der Analyse	$L_0 =$	6,682 *kg*	6,538 *kg*	9,093 *kg*
„ Welter	$L'_0 =$	7,638 „	7,546 „	9,507 „
Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff	$l_0 =$	0,189 „	0,110 „	0,139 „
Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke	$L'_0 - l_0 =$	7,449 „	7,436 „	9,368 „
Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:				
Im Zug	$L =$	15,06 „	15,22 „	15,49 „
„ Fuchs	$L' =$	15,73 „	16,02 „	16,22 „
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge:				
Im Zug	$\frac{L}{L'_0} = m' =$	1,972	2,017	1,629
„ Fuchs	$\frac{L'}{L'_0} = m =$	2,059	2,123	1,706
In den Feuerzügen angesaugte Beiluft für 1 *kg* Brennstoff	$L_1 =$	0,67 „	0,80 „	0,73 „
Verhältniss der Beiluft zu der chemischen Luftmenge	$m_0 =$	0,0877	0,1060	0,0956

7. Rauchbildung.

Rauchdichte:

Versuch XX:	Fast rauchfrei.
„ XXI:	Zuweilen leichter Rauch.
„ XXII:	„ starker Rauch.

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Russmenge für 1 *cbm* Bürettengase im Zug	$c_0 =$	0,20 *g*	0,47 *g*	1,10 *g*
Russmenge für 1 *kg* Brennstoff	$c =$	2,37 „	5,63 „	13,41 „
Gewicht von 1 *cbm* Russ	$=$	11,1 *kg*	11,1 *kg*	11,1 *kg*

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Volumen des Russes für 1 *kg* Brennstoff	= 0,00021 *cbm*	0,00051 *cbm*	0,00121 *cbm*
Verhältniss d. Russvolumen- zu der Gasvolumenmenge bei der Fuchstemperatur	= 0,0000075	0,0000169	0,0000409

8. Gasmengen.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Gasmenge im Zug: Für 1 *kg* Brennstoff G'_0	= 15,98 *kg*	16,15 *kg*	16,36 *kg*
Stündlich G'	= 2009,33 „	2205,12 „	1647,94 „
Gasmenge im Fuchs: Für 1 *kg* Brennstoff G_0	= 16,65 „	16,95 „	17,09 „
Stündlich G	= 2093,57 „	2320,29 „	1721,48 „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Gluthtemperatur (berech.) t'_3	= 1194°	1140°	1462°
Temperatur am Ende des ersten Zuges: Anzahl der Beob.	= —	128	124
t_2	= —	437,1°	430,8°
Fuchstemperatur: Anzahl der Beob.	= 116	114	124
t_1	= 319,1°	344,4°	327,6°
Spezifische Wärme der Gase im Fuchs c_p	= 0,246	0,246	0,246
Spezifische Wärme der zugeführten Luft c'_p	= 0,24	0,24	0,24

E. Zugwirkung.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Zugstärke vor dem Schieber: Anzahl der Beob.	= 39	128	124
Wassersäule: h	= 6,8 *mm*	5,7 *mm*	5,1 *mm*
Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten w	= 0,761 *m*	0,888 *m*	0,645 *m*
Verbrennungsgeschwindigkeit c	= 0,0133 *mm*	0,0152 *mm*	0,0107 *mm*
Mittlere Geschwindigkeit in den Zügen w_m	= 1,352 *m*	1,553 *m*	1,213 *m*
Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff Q'_l	= 22 Cal.	28 Cal.	52 Cal.
Wärmemenge in der angesaugten Beiluft für 1 *kg* Brennstoff Q'_b	= 1 „	1,6 „	2,5 „

F. Speisung.

Die Förderung erfolgte durch einen Injektor.

Das Speisewasser wurde in einem Reservoir gemessen, welches durch Einwiegen von Wasser bei 13,7 ° für 350 *kg* geaicht war.

Bei diesen drei Versuchen wurde in Pausen von annähernd 16,5 Minuten jedesmal ungefähr 2,8 Minuten lang gespeist.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Wasserstand im Kessel über dem niedrigsten: Zu Anfang des Versuches Δ_1	= 30 *mm*	20 *mm*	9,5 *mm*
Zu Ende des Versuches Δ_2	= 10 „	28 „	15,0 „
Mittlerer Wasserstand über dem niedrigsten: Anzahl der Beob.	= 115	124	117
	= 28,3 *mm*	18,3 *mm*	27,2 *mm*
Speisewassertemperatur im Mittel: Anzahl der Beob.	= 27	30	27
τ_0	= 10,9°	13,6°	14,6°
Speisewassermenge: Im Ganzen ZS	= 5315,8 *kg*	6463,7 *kg*	6367,8 *kg*
Stündlich S	= 556,62 „	624,51 „	636,78 „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch den Betrieb einer Dampfmaschine und durch theilweise Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Atmosphärischer Druck p_b	= 1,029 *kg/qcm*	1,027 *kg/qcm*	0,983 *kg/qcm*
Mittlerer Dampfdruck: Anzahl der Beob.	= 116	124	120
p_u	= 3,98 „	4,07 „	4,29 „
Dampfdruck zu Anfang des Versuches p_1	= 4,13 „	4,23 „	4,2 „
Dampfdruck zu Ende des Versuches p_2	= 4,1 „	4,23 „	4,3 „
Absoluter mittlerer Dampfdruck p_0	= 5,009 „	5,097	5,273 „
Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beob.	= 39	40	39
p'	= 0,00141 „	0,00146 „	0,00146 „

3. Dampftemperaturen.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel t_0	= 151,06°	151,71°	152,66°
Mittlere Temperatur des ausströmenden Dampfes: Anzahl der Beob.	= 39	40	39
t'_1	= 125,8°	126,1°	127,3°
Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes t_u	= 25,89°	26,25°	28,66°

4. Wärmemengen.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Gesammtwärme für 1 *kg* trockenem Dampf λ_0	= 652,57 Cal.	652,77 Cal.	653,06 Cal.
Gesammtwärme des ausströmenden Dampfes λ'_0	= 644,85 „	644,95 „	645,10 „

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{v0} =$	10,9 Cal.	13,6 Cal.	14,6 Cal.
Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e =$	633,86 „	631,25 „	630,40 „
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e =$	2806 „	2738 „	3985 „

5. Dampfmengen.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Stündl. Dampfmenge $S =$	556,62 *kg*	624,51 *kg*	636,78 *kg*
„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} =$	17,304 „	19,414 „	19,795 „
Stündliche Dampfmenge auf 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} =$	4,427 „	4,338 „	6,322 „
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} =$	4,405 „	4,298 „	6,256 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} =$	62,781 „	70,217 „	71,824 „
Stündliche Verdampfung auf 1 *qm* Rostfläche $\frac{S}{R} =$	291,424 „	326,969 „	333,393 „
Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 =$	6,5 *mm*	7,2 *mm*	7,1 mm
Wärmetransmission der Heizfläche: Stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} =$	10968 Cal.	12255 Cal.	12479 Cal.
Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_c}{F} =$	19724 „	22315 „	20135 „

6. Wassergehalt des Dampfes.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Wassergehalt des Dampfes im Kessel $\varphi_d \cong$	1,5 %	1,6 %	1,6 %

H. Wärme-Verluste.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Rostverlust $Q_r =$	135 Cal.	79 Cal.	99 Cal.
Verlust durch Bildung von CO $Q_k =$	0 „	0 „	77 „
Verlust durch Bildung von CH_4 $Q_m =$	0 „	109 „	0 „
Verlust durch Bildung von Russ $Q_c =$	19 „	45 „	108 „
Verlust durch äussere Abkühlung des Feuerherdes $Q'_a =$	321 „	244 ,	336 „
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c = Q_v =$	19 „	154 ,	185 „
Verlust durch äussere Abkühlung d. Kessels $Q''_a =$	481 Cal.	356 Cal.	503 Cal.
Gesammtverlust durch äussere Abkühlung $Q_a =$	802 „	610 „	839 „
Verlust durch die Beiluft $Q_b =$	52 „	65 „	56 „
Verlust durch die abziehenden Gase $Q_f =$	1284 „	1405 „	1322 „
Gesammtverlust $Q_0 =$	2240 „	2248 „	2445 „

I. Disponible Wärmemengen.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Von 1 *kg* Brennstoff über 0^0 $H_c =$	5046 Cal.	4986 Cal.	6430 Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht $Q_d =$	4727 „	4669 „	6040 „

K. Wärme-Bilanz.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Verlust durch den Rost $Q_r =$	135 Cal.	79 Cal.	99 Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung $Q_v =$	19 „	154 „	185 „
Verlust durch äussere Abkühlung der Feuerung $Q'_a =$	321 „	244 „	336 „
Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge $Q_e =$	2806 „	2738 „	3985 „
Verlust durch äussere Abkühlung d. Kessels $Q''_a =$	481 „	356 „	503 „
Verlust durch innere Abkühlung d. Kessels $Q_b =$	52 „	65 „	56 „
Verlust durch die Abzugsgase $Q_g =$	1232 „	1340 „	1266 „
Summe $H_c =$	5046 Cal.	4986 Cal.	6430 Cal.

L. Wirkungsgrade.

	Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Wirkungsgrad des Rostes $\eta_0 =$	0,9733	0,9843	0,9846
Wirkungsgrad der Verbrennung $\eta'_0 =$	0,9961	0,9686	0,9708
Wirkungsgrad der Einhüllung d. Feuerung $\eta'_a =$	0,9344	0,9587	0,9453
Wirkungsgrad der direkten Heizfläche $\eta'_2 =$	0,25	0,25	0,25
Wirkungsgrad der Feuerung $\eta_1 =$	0,9059	0,9140	0,8830
Wirkungsgrad der indirekten Heizfläche $''_2 =$	0,4852	0,4819	0,5715
Maximalwirkungsgrad der indirekten Heizfläche $\eta''_{II} =$	0,9302	0,9304	0,9313
Wirkungsgrad der Einhüllung d. Kessels $\eta''_a =$	0,8948	0,9197	0,9114
Wirkungsgrad der Dichtung gegen Beiluft $\eta_b =$	0,9886	0,9857	0,9901
Wirkungsgrad der Gasabführung $\eta_g =$	0,7305	0,7060	0,7770

		Vers. XX.	Vers. XXI.	Vers. XXII.
Wirkungsgrad des Kessels	$\eta_2 =$	0,6139	0,6114	0,6785
Wikungsgrad der Kesselanlage	$\eta =$	0,5561	0,5491	0,6198
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	$\eta_{max} =$	0,9368	0,9364	0,9393
Wirkungsgrad, bezogen auf die disponible Wärmemenge	$\eta_d =$	0,5936	0,5864	0,6598

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes	$K =$	0,286	0,276	0,304

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P =$	2,131 ℳ	2,184 ℳ	2,270 ℳ

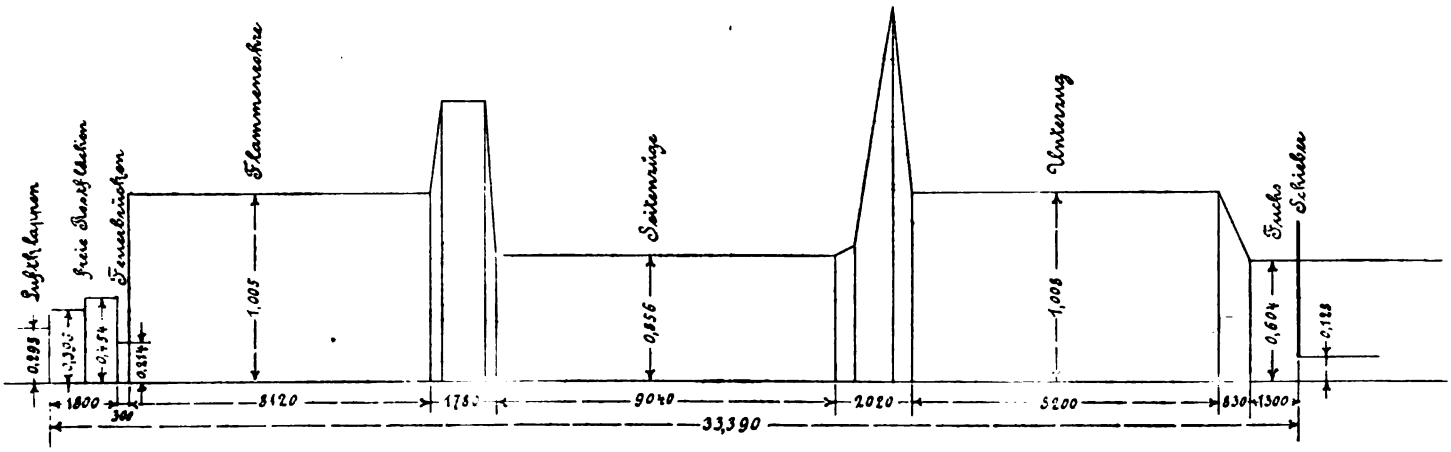
Versuch XXIII. Ziegelei Zschernitz.

Zweiflammrohrkessel, untersucht am 5. November 1892.
Leiter des Versuchs: Lewicki.
Beobachter: Ass. Hille, Baltabol, Ing. Löser, Böhm, Stud. Mitchell, Hegedüs, Maier.
Feuermann: Moritz Müller.
Versuchszeit: 8 Stunden 20 Minuten.

äusserlich zum letzten Mal am 9. September 1892. Kesselstirn und Dom sind bekleidet.

Lage des Kessels: Der Kessel liegt zwischen 2 anderen eingemauert.

Hauptkessel: Durchmesser	$D =$	2300	*mm*
Länge	$L =$	10500	„
Blechstärke	$\delta =$	17,5	„
Flammrohre: Zahl der Flammrohre	$i =$	2	Stück
„ „ Schüsse	$z =$	6	„
Durchmesser	$d =$	800	*mm*
Länge der Schüsse	$l =$	1820	„
Heizfläche: Direkte Heizfläche	$F_1 =$	1,06	*qm*
Indirekte „	$F_2 =$	88,94	„
Gesammte „	$F =$	90	„
Wasserraum beim Versuch	$V_1 =$	24,41	*cbm*
Dampfraum „ „	$V_2 =$	8,18	„
Gesammtraum	$V =$	32,59	„
Verhältniss	$V_2 : V_1 =$	0,335	
„	$V_1 : V =$	0,749	
„	$V_2 : V =$	0,251	
Wasserspiegelfläche beim Versuch	$O =$	20,378	*qm*
Wasserspiegelfläche: Heizfläche	$O : F =$	0,226	
Sicherheitsventile: Anzahl	$i_2 =$	2	Stück
Durchmesser	$d_1 =$	86	*mm*
Wasserstandsgläser: Anzahl	$i_3 =$	2	Stück
Höhe des Dampfentnahmeventils über dem Wasserspiegel	$h =$	1260	*mm*
Dampfabblaserohr: Durchmesser	$d_3 =$	52	„
Länge	$l_5 =$	10570	„
Ausblasorohrmündung: Durchmesser	$d_5 =$	90	„



Versuch XXIII.

A. Kesselanlage. (Tafel XV.)

1. Kessel.

System und Allgemeines: Zweiflammrohrkessel mit Schreiber'schem Rost, erbaut von H. Böhme in Plauen 1890. Fabrik-Nummer 226. Der Kessel wurde für 7 *kg/qcm* Ueberdruck gestempelt. Von den 4 Kesseln ist der Versuchskessel der 3. und war während dem Versuch allein im Betrieb. Nachdem die Flugasche aus dem Flammrohr entfernt worden war, wurde der Kessel am Tage vor dem Versuch früh angeheizt und unter Druck gehalten. Revision

2. Feuerung.

System: Schreiber'scher Patent-Rost.

Rost: Roststabdicke des vorderen Roststabes	$s =$	22	*mm*
„ „ hinteren „	$s_1 =$	21	„
Roststabhöhe „ vorderen „	$h =$	110	„
„ „ hinteren „	$h_1 =$	100	„
Roststablänge „ vorderen „	$a =$	950	„
„ „ hinteren „	$a_1 =$	745	„
Rostspaltenweite	$s_0 =$	1	„
Rostbreite	$b =$	800	„

Rostlänge $l = 1800\ mm$
Gesammte Rostfläche $R = 2{,}88\ qm$
Freie Rostfläche $R_0 = 0{,}850$ „

Verhältniss $\frac{R_0}{R} = 0{,}295$

„ $\frac{R}{F} = 0{,}032$

„ $\frac{R}{O} = 0{,}141$

3. Zugführung.

Primäre Luftzuführung.

Querschnitt der Klappenöffnungen $f_0 = 0{,}295\ qm$
„ vor dem Rost $f_1 = 0{,}5027$ „
„ der freien Rostfläche $R_0 = 0{,}850$ „
„ über der Feuerbrücke $f_2 = 0{,}214$ „
„ der engsten Rohrstelle $f_3 = 1{,}005$ „
„ des ganzen Fuchses $f_4 = 0{,}604$ „
Mittlerer Querschnitt der gesammten Zugführung $f_5 = 0{,}892$ „
Mittlerer Fuchsquerschnitt beim Versuch $f = 0{,}128$ „

Verhältniss $\frac{f}{R} = 0{,}044$

„ $\frac{f_0}{R} = 0{,}102$

„ $\frac{R_0}{R} = 0{,}295$

„ $\frac{f_1}{R} = 0{,}175$

„ $\frac{f_2}{R} = 0{,}074$

„ $\frac{f_3}{R} = 0{,}349$

„ $\frac{f_4}{R} = 0{,}210$

„ $\frac{f_5}{R} = 0{,}310$

B. Aeussere Zustände.

Barometerstand (34 Beobachtungen) $b = 756{,}60\ mm$
Atmosphärischer Druck $p_b = 1{,}0285\ kg/qcm$
Temperatur der Luft, aussen (34 Beob.) $\tau_1 = 9{,}29^0$
im Kesselhaus $\tau_2 = 15{,}16^0$
Psychrometer: befeuchtetes Thermometer (34 Beobachtungen) $\tau_3 = 11{,}94^0$
Psychrometer: trockenes Thermometer $\tau_4 = 13{,}56^0$
Luftfeuchtigkeitsgrad $\varphi = 79{,}82\ \%$
Wassergehalt in 1 *cbm* Luft $G_w = 7{,}3\ g$
Wetter: Früh Nebel, dann klar.
Wind: Leichter Südwestwind.

C. Brennstoff.

1. Brennstoffart.

Brennstoff: Braunkohle. Preis für 100 *kg* = 0,95 ℳ

2. Elementar-Analyse.

$C = 48{,}48\ \%$
$H = 4{,}26$ „
$O = 12{,}24$ „
$N = 0{,}93$ „
$S = 0{,}76$ „
Grubenfeuchtigkeit = 15,62 } 30,03 %
Hygroskop. Wasser = 14,41 }
Asche = 11,90 %

3. Heizwerthe.

Theoretischer Heizwerth $H_t = 4558$ Cal.
Calorimetrischer „ $H_c = 4578$ „

D. Verbrennung.

1. Beschickungsweise.

Die Brennstoffaufgabe erfolgte von Hand und zwar so, dass die Kohle abwechselnd einmal auf die linke Seite und einmal auf die rechte Seite des Rostes geworfen wurde. Es erfolgten im Ganzen 68 Beschickungen zu 10,9 Schaufeln.

2. Brennstoffmenge.

Zeitdauer $Z = 8{,}15$ Std.
Brennstoffmenge im Ganzen $ZB = 2732\ kg$
„ stündlich $B = 327{,}84$ „

3. Belastungen und Anstrengungen.

Rostbelastung $\frac{B}{R} = 113{,}83\ kg$

Rostanstrengung $\frac{BH_c}{R} = 521114$ Cal.

Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} = 3{,}643\ kg$

Heizflächenanstrengung $\frac{BH_c}{F} = 16678$ Cal.

Brennstoff auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{B}{O} = 16{,}088\ kg$

4. Herdrückstände.

Asche und Schlacke: Im Ganzen $= 34\ kg$
Für 1 *kg* Brennstoff $\mu_1 = 0{,}0124$ „
Verbrennliches in 1 *kg* Asche und Schlacke $\mu_0 = 0{,}2517$ „
Theoretischer Heizwerth der Asche und Schlacke $h_t = 2014$ Cal.
In der Asche und Schlacke vorhandene absolute Asche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_a = 0{,}0093\ kg$
Flugasche für 1 *kg* Brennstoff $\mu_f = 0{,}0237$ „

5. Rauchgasanalysen.

Durchschnitt aus 16 Einzelanalysen Flammrohr rechts $CO_2 = 12{,}975\ \%$
$O = 3{,}75$ „

Durchschnitt aus 18 Einzelanalysen Flammrohr links $CO_2 = 8{,}81$ „
$O = 0{,}906$ „

Der Durchschnitt, während der Dauer der Versuches entnommen, ergab im Flammrohr $CO = 0{,}2\ \%$

$CH_4 = 0{,}1$ „

6. Luftmengen.

Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:

Nach der Analyse $L_0 = 6{,}447\ kg$

„ Welter $L'_0 = 6{,}995$ „

Der Aschen- und Schlackenmenge entsprechende chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff $l_0 = 0{,}035$ „

Chemische Luftmenge nach Abzug der Luftmenge für das Verbrennliche in der Asche und Schlacke $L'_0 - l_0 = 6{,}960$ „

Zugeführte Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff im Flammrohr $L = 12{,}24$ „

Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr $\frac{L}{L'_0} = m' = 1{,}750$

7. Rauchbildung.

Rauchdichte: Grauer Rauch.

8. Gasmengen.

Gasmenge im Flammrohr:

Für 1 *kg* Brennstoff $G'_0 = 13{,}205\ kg$

Stündlich $G' = 4329{,}13$ „

9. Temperaturen bei der Verbrennung.

Fuchstemperatur (101 Beobachtungen) $t_1 = 318{,}3^0$

Spezifische Wärme der Gase im Fuchs $c_p = 0{,}246$

„ „ „ zugeführten Luft $c'_p = 0{,}24$

E. Zugwirkung.

Zugstärke vor dem Schieber (101 Beob.) Wassersäule $h = 11{,}4\ mm$

Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $w = 0{,}563\ m$

Verbrennungsgeschwindigkeit $c = 0{,}0225\ mm$

Wärmemenge in der zugeführten Luft für 1 *kg* Brennstoff $Q'_l = 27{,}29$ Cal.

F. Speisung.

Das Speisewasser ist Brunnenwasser, das durch eine Pumpe in einen hoch gelegenen Behälter gedrückt wurde, aus welchem es dann in den Speisewasser-Behälter gelassen wurde.

Die Speisung erfolgte durch einen Doppelinjektor von Körting.

Das Wasser ging durch 2 ausser Betrieb befindliche über den Kesseln liegende Vorwärmer.

Die Speisung erfolgte innnerhalb 8 Stunden 7 Minuten 25 mal von ungefähr 6 Minuten Dauer.

Wasserstand im Kessel zu Anfang des Versuchs $\Delta_1 = 86\ mm$

Wasserstand im Kessel zu Ende des Versuchs $\Delta_2 = 86$ „

Wasserstand im Kessel über dem Niedrigsten (101 Beobachtungen) $\Delta = 44{,}8\ mm$

Speisewassertemperatur im Mittel (25 Beobachtungen) $\tau_0 = 11{,}67^0$

Speisewassermenge: Im Ganzen $ZS = 12814{,}3\ kg$

Stündlich $S = 1537{,}72$ „

G. Verdampfung.

1. Art der Dampfentnahme.

Die Dampfentnahme erfolgte durch Ausströmung des Dampfes in die Atmosphäre unter Drosselung.

2. Dampfdrücke.

Atmosphärischer Druck $p_b = 1{,}0285\ kg/qcm$

Mittlerer Dampfdruck nach dem Manometer $p_u = 6{,}089$ „

Dampfdruck zu Anfang des Versuchs $p_1 = 5{,}8$ „

„ „ Ende „ „ $p_2 = 5{,}5$ „

Absoluter mittlerer Dampfdruck $p_0 = 7{,}118$ „

Mittlerer Ueberdruck des ausströmenden Dampfes (33 Beobachtungen) $p' = 0{,}0016$ „

3. Dampftemperaturen.

Mittlere Temperatur des Dampfes im Kessel $t_0 = 164{,}70^0$

„ „ „ ausströmenden Dampfes (33 Beobachtungen) $t'_1 = 135{,}56^0$

Mittlere Ueberhitzungstemperatur des ausströmenden Dampfes $t_u = 35{,}67^0$

4. Wärmemengen.

Gesammtwärme von 1 *kg* trockenem Dampf $\lambda_0 = 656{,}73$ Cal.

„ des ausströmenden Dampfes $\lambda'_0 = 647{,}47$ „

Im Speisewasser zugeführte Wärmemenge $q_{\tau 0} = 11{,}67$ „

Erzeugungswärme für 1 *kg* Dampf $\lambda_e = 635{,}65$ „

Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde $Q_e = 2984$ „

5. Dampfmengen.

Stündliche Dampfmenge $S = 1537{,}72\ kg$

„ „ auf 1 *qm* Heizfläche $\frac{S}{F} = 17{,}086$ „

„ „ „ 1 *kg* Brennstoff $\frac{S}{B} = 4{,}694$ „

Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf $\frac{S_n}{B} = 4{,}68$ „

Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Spiegelfläche $\frac{S}{O} = 75{,}47$ „

Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Rostfläche $\frac{S}{R} = 533{,}92$ „

Mittlere Aufsteiggeschwindigkeit $w_0 = 5{,}64\ mm$

Wärmetransmission der Heizfläche, stündlich gehen durch 1 *qm* $\lambda_e \frac{S}{F} = 10860$ Cal.

Anstrengung der Heizfläche $\frac{BH_c}{F} = 16678$ „

6. Wassergehalt des Dampfes.

Wassergehalt des Dampfes im Kessel	$\varphi_d \cong 1{,}9$	%

H. Wärmeverluste.

Rostverlust	$Q_r =$	25	Cal.
Verlust durch Bildung von CO	$Q_k =$	58	„
„ „ „ „ CH_4	$Q_m =$	83	„
„ „ „ „ Russ	$Q_c =$	—	„
Verlust durch unvollständige Verbrennung $Q_k + Q_m + Q_c$	$= Q_v =$	141	„
Verlust durch die abziehenden Gase	$Q_g =$	1007	„
Nicht direkt bestimmte Verluste	$Q'_o =$	421	„
Gesammtverlust	$Q_o =$	1594	„

I. Disponible Wärmemengen.

Von 1 *kg* Brennstoff über 0°	$H_c =$	4578	Cal.
Wärmemenge, welche wirklich zur Verfügung steht	$H_d =$	4264	„

K. Wärmebilanz.

Verlust durch den Rost	$Q_r =$	25	Cal.
„ „ unvollständige Verbrennung	$Q_v =$	141	„

Für die Dampferzeugung nutzbar gemachte Wärmemenge	$Q_e =$	2984	Cal.
Verlust durch die Abzugsgase	$Q_g =$	1007	„
Nicht direkt bestimmte Verluste	$Q'_o =$	421	„
Summe $= H_c$	$=$	4578	Cal.

L. Wirkungsgrade.

Wirkungsgrad des Rostes	η_0	$= 0{,}9946$
„ der direkten Heizfläche	η'_2	$= 0{,}3$
„ „ Kesselanlage	η	$= 0{,}6518$
„ bezogen auf die disponible Wärmemenge	η_d	$= 0{,}700$
Maximalwirkungsgrad der Kesselanlage	η_{max}	$= 0{,}9314$

M. Kriterium.

Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffs	$K = 0{,}342$

N. Preis für 1 Tonne Dampf.

Preis für 1 Tonne Dampf	$P = 2{,}03$ ℳ

Uebersicht über die Hauptergebnisse der Versuche.

Man gewinnt eine Uebersicht über die wichtigsten Versuchsergebnisse aus der nachstehenden Tabelle, in welcher die Hauptergebnisse der 23 ausgeführten Versuche in chronologischer Reihenfolge aufgeführt sind. Die Zahlenwerthe dieser Zusammenstellung sollen bei den folgenden Bemerkungen ausser den Angaben in den Listen der einzelnen Versuche zur Vergleichung herangezogen werden.

Besprechung der Feuerungskonstruktionen.

Allgemeines über die untersuchten Kesselsysteme und Feuerungskonstruktionen.

Es sind zunächst 16 Kessel mit zusammen 1119 *qm* Heizfläche, die 9 verschiedenen Systemen angehören, in Untersuchung gezogen worden. Die Gesammtversuchszeit betrug 205 Stunden, während welcher im Ganzen eine Brennstoffmenge von 41583 *kg* verbraucht wurde. Die Kesselsysteme waren die folgenden:

1. Ein kombinirter Cylinderkessel mit 2 Siedern (Vers. XX, XXI und XXII),
2. Zwei Glatt-Flammrohrkessel mit in der Mitte liegendem Flammrohr (Vers. VII, VIII und IX),
3. Fünf Glatt-Flammrohrkessel mit je 2 Flammrohren (Vers. III, IV, XVI, XVII, XVIII, XIX u. XXIII),
4. Ein Einseit-Flammrohr-Galloway-Kessel (Vers. V),
5. Zwei Zwei-Flammrohr-Galloway-Kessel (Vers. XIII, XIV und XV),
6. Ein Paucksch-Flammrohrkessel (Vers. I),
7. Ein Feuerröhrenkessel (Vers. X),
8. Ein feststehender Lokomotivkessel (Vers. II),
9. Zwei kombinirte Flammrohr-Feuerröhrenkessel (Vers. VI, XI und XII).

Der kleinste Kessel besass eine Heizfläche von 28,2 *qm*, während der grösste eine solche von 185 *qm* hatte.

Die Feuerungseinrichtungen.

Bei den untersuchten Kesseln fanden sich vor:

1. 2 Unterfeuerungen,
2. 7 Vorfeuerungen,
3. 7 Innenfeuerungen.

1. Die Unterfeuerungen.

Die Unterfeuerung an dem Sieder- und Walzenkessel der Königl. Eisenbahnwerkstätten am Bayerischen Bahnhof in Leipzig ist ausgerüstet mit der Schulz-Röberfeuerung, deren Konstruktion aus den Zeichnungen, die den Versuchsergebnissen beigefügt sind, zu ersehen ist. Zwei durch die Transmission angetriebene Wellen mit Schneckenbetrieb bewegen zwei Transportschrauben, die das aus den Fülltrichtern ihnen zufallende Brennmaterial auf einen eigenthümlich geformten, nach der Feuerbrücke und vorn nach den Seiten geneigten Rost befördern, wo es sich vorschiebt und ausbreitet.

Diese selbstthätige Beschickungsvorrichtung bewährt sich gut und es lässt sich durch Aenderung der Uebersetzung eine Veränderung in der Beschickungsmenge leicht erreichen. Nur die Ausbreitung des Brennstoffes war nicht eine derartige, dass der ganze Rost besonders der Breite nach gleichmässig bedeckt wurde. Bei dem untersuchten Rost würden 3 statt 2 Transportschrauben die Brennstoffvertheilung in zufriedenstellender Weise bewirkt haben. Da sich das Brennmaterial vor den Mündungen der Transportschrauben staute, statt sich nach allen Seiten zu vertheilen, musste zur Verhütung von Zuströmung überschüssiger Luft mit dem Schüreisen nachgeholfen werden.

Jedesmal wenn dies geschah, erfolgte in Folge des Durcheinanderwerfens von durchgebranntem und noch destillirendem Brennstoff starke Rauchbildung.

→→ Uebersic[ht]

			2 Fl. Paucksch I. Fg. Pl. Steingut-Fabr.	Loc. V. Fg. schräg. R. St.-E.-B.-Wrkst.	2 Fl. V. Fg. schräg. R. St.-E.-B.-Wrkst.		1 Fl. Galloway V. Fg. Donneley Werft.	Komb. V. Fg. schräg. R. Pat. Rost Siechenhaus	1 F[l.] U. F[g.] schräg. St.-E.-B.-
Versuch:			I	II	III	IV	V	VI	VII
Calorimetrischer Heizwerth:	in Cal.	H_c	5162	5254	5254	5301	4838	3922	6551
Chemische Luftmenge für 1 *kg* Brennstoff:	in *kg*	L_0'	7,729	7,864	7,865	7,917	7,350	6,045	9,637
Zugeführte „ „ 1 „ „ im Flammrohr:	in *kg*	L	12,34	12,09	17,97	14,88	9,21	8,06	13,96
„ „ „ 1 „ „ „ Fuchs:	in *kg*	L'	—	12,09	—	—	11,20	8,54	14,07
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Flammrohr:		m'	1,597	1,537	2,285	1,879	1,253	1,333	1,449
Verhältniss der zugeführten zu der chemischen Luftmenge im Fuchs:		m	—	1,537	—	—	1,524	1,413	1,460
Asche und Schlacke für 1 *kg* Brennstoff:	in *kg*	μ	0,1345	0,1270	0,1347	0,0932	0,0432	0,0874	0,1288
Verlust durch Bildung von Russ:	in Cal.	Q_c	20	0	—	—	5	17	60
Verhältniss der gesammten Rostfläche zu der gesammten Heizfläche:		$\frac{R}{F}$	0,0376	0,0166	0,0237	0,0237	0,0249	0,0217	0,0273
Rostbelastung:		$\frac{B}{R}$	135,93	138,5	97,87	141,79	99,77	174,85	129,38
Wärmemenge, die für 1 *kg* Brennstoff zur Dampferzeugung nutzbar gemacht wurde:	in Cal.	Q_e	3312	4003	2835	2919	3188	2664	4088
Wärmetransmission d. Heizfläche: Stündl. geh. durch 1 *qm*	in Cal.	$\lambda_e \frac{S}{F}$	16966	9206	6573	9802	7902	10090	13916
Anstrengung der Heizfläche:		$\frac{BH_c}{F}$	26429	12084	12179	17802	11998	14853	22304
„ „ Rostfläche:		$\frac{BH_c}{R}$	701671	727964	514230	751642	482687	685766	847535
Stündliche Dampfmenge auf 1 *qm* Heizfläche:		$\frac{S}{F}$	26,89	14,731	10,453	15,558	12,61	15,696	22,230
Verdampfung für 1 *kg* Brennstoff, bezogen auf Normaldampf:		$\frac{S_n}{B}$	5,199	6,286	4,452	4,582	5,01	4,185	6,418
Wirkungsgrad der Kesselanlage:		η	0,6416	0,7619	0,5396	0,5507	0,6589	0,6792	0,6240
„ bezogen auf die disponible Wärmemenge:		η_d	0,6873	0,8135	0,5759	0,5874	0,7088	0,7323	0,6563
Kriterium für die Ausnützung des Brennstoffes:		K	0,294	0,462	0,244	0,266	0,521	0,497	0,335
Preis für 1 Tonne Dampf:	in *M*	P	1,64	1,331	1,788	1,757	1,81	1,521	2,259

Abkürzungen: Fl. = Flammrohrkessel; Fr. = Feuerröhrenkessel; Sdr. = Siederohrkessel; Loc. = Locomotivkessel; Komb. = K[…]
Fg. = Feuerung; V. Fg. = Vorfeuerung; U. Fg. = Unterfeuerung; I. Fg. = Innenfeuerung.
R. = Rost; Pl. = Planrost.

abelle I. ←

1 Fl.	Fr.	Komb.		2 Fl. Galloway		2 Fl. Galloway	2 Fl.	2 Fl.	2 Fl.		Sdr.			2 Fl.	
I. Fg. Pl.	U. Fg. Helix	I. Fg. Cairo		I. Fg. Leach		I. Fg. Pl.	V. Fg. Generat.-Gas-Fg.	V. Fg. Generat.-Gas-Fg.	I. Fg. Pl.		U. Fg. Schulz-Röber			I. Fg. Pl. Pat. Schreiber.	
St.-E.-B.-Wrkst.	St.-E.-B.-Wrkst.	Masch.-Fabr.		Masch.-Fabr.		Färberei.	Glas-Fabr.	Masch.-Fabr.	Gas-Fabr.		St.-E.-B.-Wrkst.			Ziegelei.	
IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	Arith. Mittel.
6421	6394	5745	6108	6619	6631	6547	4700	4794	5414	6752	5046	4986	6430	4578	5654
9,457	9,419	8,510	8,997	9,703	9,713	9,644	—	7,295	7,652	9,485	7,638	7,546	9,507	6,995	8,380
21,46	13,98	16,97	13,33	13,74	12,51	25,68	—	12,23	16,04	12,00	15,06	15,22	15,49	12,24	14,61
24,18	24,13	20,21	15,77	17,84	15,52	—	—	13,25	16,77	15,75	15,73	16,02	16,22	—	16,17
2,269	1,484	1,994	1,481	1,416	1,288	2,663	—	1,676	2,096	1,265	1,972	2,017	1,629	1,750	1,744
2.557	2,562	2,375	1,753	1,839	1,598	—	—	1,816	2,191	1,660	2,059	2.123	1,706	—	1,898
0,1081	0,0643	0,0987	0,0795	0,0396	0,0442	0,0465	0,0598	0,1575	0,1890	0,0694	0,0712	0,0251	0,0789	0,0123	0,0887
97	50	39	61	46	49	120	—	0	0	0	19	45	108	—	54,27
0,0727	0,0232	0,0199	0,0199	0,0382	0,0382	0,0331	0,127	0,0417	0,0692	0,0692	0,0594	0,0594	0,0594	0,032	0,0370
58,97	75,87	73,12	85,93	92,41	91,00	106,37	36,37	118,58	45,01	36,04	65,83	75,38	52,74	113,83	98,50
3574	4397	3501	4140	4388	4580	3550	2159	2752	3741	5009	2806	2738	3985	2984	3570
15340	7723	5091	7078	15484	15917	12483	3623	13615	11657	12499	10968	12255	12479	10860	11453
27553	11231	8330	10445	23358	23042	22587	21681	23716	16870	16846	19724	22315	20135	16678	18504
378646	485084	420074	559565	611686	603421	696404	170939	568486	243684	243342	332191	375830	339107	521114	544570
24,25	12,187	8,094	11,207	24,283	24,968	19,48	15,72	21,632	18,51	19,85	17,304	19,414	19,795	17,09	18,00
5.61	6,902	5,496	6,499	6,893	7,196	5,573	3,389	4,321	5,87	7,86	4,405	4,298	6,256	4,68	5,605
0,5566	0,6877	0,609	0,678	0,6629	0,6907	0,542	0,4594	0,5741	0,691	0,742	0,5561	0,5491	0,6198	0,652	0,6303
0,5850	0,7344	0,652	0,721	0,7044	0,7337	0,580	—	0,6158	0,733	0,787	0,5936	0,5864	0,6598	0,701	0,6720
0,233	0,508	0,386	0,490	0,375	0,447	0,187	—	0,305	0,333	0,667	0,286	0,276	0,304	0,342	0,3634
2,58	1,739	2,14	1,81	1,886	1,806	2,64	2,464	2,212	2,323	1,759	2,131	2,184	2,270	2,02	2,012

r Kessel.

Tabelle II.

Hauptwerthe der Versuchsergebnisse.

	kleinster Werth	mittlerer Werth	grösster Werth
Heizfläche der Kessel $F =$	28,2 (9)	69,865	185 (11. 12)
Rostflächenverhältniss $\frac{R}{F} =$	0,0166 (2)	0,0370	0,0727 (9)
Fuchsquerschnittsverhältniss während d. Versuches $f =$	0,036 (18. 19)	0,094	0,273 (5)
Zugstärke $h^{mm} =$	3,07 (18)	8,213	16,18 (1)
$\frac{\text{Verhält. d. Luftmenge}}{\text{Chemische Luftmenge}}$ (Fuchs) $m =$	1,413 (6)	1,898	2,562 (10)
$\frac{\text{Verhält. d. Beiluftmenge}}{\text{Chemische Luftmenge}}$ $m_0 =$	0,0114 (7)	0,2562	1,078 (10)
Rostbelastung $\frac{B}{R} =$	36,04 (19)	98,50	174,85 (6)
Rostanstrengung $\frac{B H_c}{R} =$	243342 (19)	544570	890415 (8)
Heizflächenbelastung $\frac{B}{F} =$	1,45 (11)	3,287	5,12 (1)
Heizflächenanstreng. $\frac{B H_c}{F} =$	8330 (11)	18504	27553 (9)
Heizflächentransmiss. stündl. auf 1 qm $\frac{\lambda_e S}{F} =$	5091 (11)	11453	16966 (1)
Verdampfung nach B: $\frac{S_n}{B} =$	4,185 (6)	5,605	7,86 (19)
Verdampfung nach F: $\frac{S}{F} =$	8,094 (11)	18,00	26,890 (1)
Russmengen in g auf 1 kg Brennstoff			
a) bei gewöhnl. Planrosten	12,0	12,9	14,8
b) bei rauchfreien Feuerung.	0,0	4,38	13,41
Kohlensäure (Flammrohr) $CO_2 =$	6,93 (15)	11,10	16,73 (19)
Endtemperatur $t_1 =$	238,5 (11)	316,9	380,5 (1)
Kriterium $K = \frac{1000}{t_1} \varphi_k =$	0,187 (15)	0,363	0,667 (19)
Wirkungsgrad der Kesselanlagen	0,5396 (3)	0,6303	0,7619 (2)
Wirkungsgrad der Kesselanlagen			
a) bei Planrostfeuerung	0,5420 (15)	0,5801	0,6416 (1)
b) bei rauchfreier Feuerung	0,5396 (3)	0,6382	0,7619 (2)
Preis für 1 Tonne (1000 kg) Dampf	1,33 1 (2)	1,995	2,58 (9)

Tabelle III.

Rostbelastungen.

	kleinster Werth	mittlerer Werth	grösster Werth
a) bei Planrosten:			
1. Braunkohlen	—	—	—
2. Gemisch	—	135,93 (1)	—
3. Koke	—	—	—
4. Steinkohle	58,971 (9)	82,671	106,37 (15)
b) bei rauchfreien Feuerungen:			
1. Braunkohlen	99,77 (5)	126,758	174,851 (6)
2. Gemisch	65,832 (20)	107,570	157,87 (8)
3. Koke*)	36,04 (19)	40,525	45,01 (18)
4. Steinkohlen	52,738 (22)	83,407	129,38 (7)

2. Die Helix-Feuerung an dem Röhrenkessel der Königl. Sächs. Hauptwerkstätte zu Chemnitz.

Die Zuführungsart des Brennstoffes bei dieser selbstthätigen Beschickungsvorrichtung entspricht ganz und gar den Anforderungen, welche man mit Rücksicht auf die richtige Zonenfolge der Verbrennung stellen muss. Die Kohlen werden von unten her durch die Rostspalten hindurch auf den Rost gefördert, sodass dieselbe Reihenfolge der Verbrennungszonen entsteht, wie bei dem Rost mit umgekehrtem Zug, doch mit dem wesentlichen Unterschiede, dass die Rostfläche nicht in der Flammenzone liegt, sondern nur mit dem kalten, sich wärmenden und schwälenden Brennstoff in Berührung kommt. Diese Anordnung der Zonen schwebte augenscheinlich auch Donneley vor, als er auf die Idee kam, den alten, nach unten brennenden Rost einfach aufzurichten und einen zweiten Rost anzubringen, der die Kohlen an den vorderen Rost hält.

Bei der Helix-Feuerung ist dieser Nothbehelf nicht erforderlich.

Aus dem Fülltrichter gelangen die Kohlen durch eine Vertheilungsschraube an die in geschlossenem Gehäuse neben dem Roste liegenden konischen Transportschrauben. Die Gehäuse, ebenfalls konisch, schliessen mit ihrem oberen Längsschlitz an die drei Hauptrostspalten. Die Hauptrostspalten haben viele Seitenspalten

*) Der „Zug" war aussergewöhnlich gering ($8^1/_2$ mm).

welche die plattenförmigen Roststäbe durchziehen. Die gleichzeitig angetriebenen Schnecken drücken den Brennstoff derartig auf die Rostfläche, dass von den drei sich bildenden Dämmen aus der Rost mit Brennstoff bedeckt wird. Die langsam nach der Feuerbrücke zu hinrückende Schlacke fällt auf den Schlackenrost. Die Fördermenge kann durch Benutzung einer Stellvorrichtung verändert werden.

2. Die Vorfeuerungen.

1. Die Vorfeuerung des Lokomotiv-Kessels der Königl. Reparaturwerkstätte auf dem Schlesischen Bahnhofe zu Dresden.

Diese zum Theil in den Boden eingebaute Vorfeuerung bildet eine Verlängerung der Feuerbüchse. Der aus Chamotte gemauerte Feuerraum verengt sich in der Richtung der Kesselachse nach oben, während rechtwinklig dazu eine Erweiterung stattfindet, die jedoch durch zwei Brücken bildende Gewölbe getheilt wird, so dass eine Wirbelung, somit auch eine innige Mischung der Feuergase schon vor der Feuerbrücke erzielt wird. Zu beiden Seiten des Rostes befinden sich die Kanäle für die sekundäre Luft, deren Zutritt durch Klappen regulirbar ist. Die Sekundärluft tritt zwar über der Gluthzone in den Verbrennungsraum ein, aber noch bevor eine Verminderung der Feuerraumtemperatur durch Einstrahlung in den Kessel eingetreten ist. Diese Vorfeuerung ergab sich als fast rauchfrei.

2. Die Vorfeuerung an dem Kessel der Königl. Reparaturwerkstätte auf dem Schlesischen Bahnhofe in Dresden.

Die dem Zwei-Glattflammenrohrkessel vorgesetzte, auf Rädern ruhende Vorfeuerung ist eine Halbgasfeuerung mit Fülltrichter, schrägem Rost (43° zur Horizontalen geneigt) und einer horizontalen Luftspalte mit stellbarer Klappe für sekundäre Luft. Die aus Chamotte gemauerte Feuerkammer zeigt in der Art des Gall'schen Herdes einen hochaufsteigenden, essenförmigen Raum vor der Einmündung in die Flammrohre. Die Sekundärluft ist an richtiger Stelle, da wo noch eine Mischung mit den Schwälgasen sich vollziehen kann, eingeführt.

Die Feuerung bewährt sich gut und ist, wenn nicht durch backende Kohlen sich auf dem Rost Brücken bilden, die beim Zusammenbrechen das plötzliche Nachrollen von kaltem Brennstoff bewirken, fast ganz rauchfrei.

In der Feuerbüchse ist auch ein Ten-Brink-Gewölbe eingebaut, das die Gase zwingt, zurückzuschlagen und sich innig zu mischen. Die sekundäre Luftzuführung ist dieselbe wie bei der vorigen Feuerung. Beim Versuch war die Rostzugklappe ganz geschlossen; immerhin konnte durch die verbleibenden Undichtheiten hinreichend Luft unter den Rost gelangen. Die kombinirte Ten-Brink-Vorfeuerung erwies sich ebenso rauchfrei, wie die erste Vorfeuerung. Es wurde ein Gemisch aus Stein- und Braunkohlen gefeuert.

3. Die Vorfeuerung von C. E. Rost & Comp. an dem Kessel des städtischen Siechenhauses zu Dresden.

Der Treppenrost mit Schlackenrost und Schlackenschieber hat eine Neigung von 35°; die Sekundärluft wird durch seitlich, vom Fülltrichter liegende, mit Drehschiebern versehene Kanäle zunächst an den Wänden des Feuerraumes zur „Vorwärmung" hingeführt und durch eine Anzahl Austrittsöffnungen vertheilt in den Flammenraum geführt. Wenn die Schräge des Rostes dem Brennmaterial angepasst ist, so findet das Nachrutschen des Brennmaterials regelmässig statt und die Zonenfolge der Verbrennung bleibt ungestört. Man hat auch darauf zu sehen, dass der Fülltrichter nicht leer wird, damit nicht Luft über das Feuer hinwegzieht. Gefeuert wurde Böhmische Braunkohle. Die Herdrückstände zeigten nur Spuren von verbrennlichen Substanzen.

4. Die Vorfeuerung an dem Flammrohrkessel der Königl. Sächs. Hauptwerkstätte zu Chemnitz ist mit einem Fülltrichter und Schrägrost (50°) und Luftklappe für sekundäre Luftzuführung ausgerüstet. Die Roststäbe haben seitliche Angüsse, sodass Treppen entstehen. Zur Abführung der Schlacken ist eine Oeffnung vorhanden. Die regulirbare Klappe führt Luft in die Schwälzone des Brennstoffes. Die Flammen werden vom Ende des Rostes vertikal bis nahezu in die Höhe des Fülltrichters emporgeführt und gehen durch ein Chamottemundstück in das Flammrohr. Die Feuerung ist der beweglichen Feuerung des Kessels in der Reparaturwerkstätte am Schlesischen Bahnhofe sehr ähnlich; sie hat einen etwas zu kleinen Fülltrichter. Die Bewährung ist sonst eine sehr gute.

5. Die Generator-Gasfeuerung der Kessel in der Friedrich Siemens'schen Glasfabrik (Vers. XVI) zu Löbtau bei Dresden an einem Flammrohrkessel.

Ein in den Boden eingebauter Generator lieferte die Gase für den Betrieb zweier Kessel. Die Fülltrichter mit Verschluss wurden gefüllt erhalten; die Roste mussten mit Wasser gekühlt werden, sodass eine beträchtliche Menge Wärme zur Dampfbildung verbraucht wurde; vor dem Flammrohr des Kessels be-

finden sich die Luft- und Gasdüsen, sowie die Zulassventile. Die Rauchbildung konnte bei richtiger Stellung der Ventile verhütet werden. Der Kessel hat trotz der guten Verbrennung der Generatorgase einen sehr niedrigen Wirkungsgrad ergeben, weil der für zwei Kessel berechnete grosse, im Boden eingebaute Generator für den einen dem Versuche unterworfenen Kessel gefeuert werden musste, in Folge dessen die äussere Abkühlung des Feuerherdes im Generator verhältnissmässig gross ausfallen musste. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in den Listen aufgeführt, jedoch nicht weiter verwerthet worden. Die Kesselzeichnung ist hier nicht mit aufgenommen worden.

6. Die Generator-Gasfeuerung an dem Zweiflammrohrkessel in der Maschinenfabrik von C. Kühne in Löbtau bei Dresden.

Der ebenfalls in den Boden versenkte Generator liegt etwa 6 *m* vom Kessel entfernt und es war das Generatorgas dem Kessel durch einen ebenfalls im Boden liegenden Kanal zugeführt. Durch zwei Ventile wird Luft- und Gaszuführung geregelt. Die Feuerung zeigte nur Rauchbildung, wenn entweder das Gas- oder das Luftventil allein verstellt wurde, doch konnte sofort rauchfreie Verbrennung wieder hergestellt werden. Da die Generatorgrösse der Kesselheizfläche gut angepasst war, so erzielte man bei diesem Versuche eine gute Ausnutzung der Braunkohle; doch übertraf dieselbe nicht diejenige bei gut geführten gewöhnlichen Feuerungen.

Der Generator und der Zuführungskanal erleiden durch Wärmeableitung und durch die Wasserkühlung eben einen beträchtlichen Wärmeverlust.

7. Die Donneley-Feuerung an dem Galloway-Kessel der Maschinenbauanstalt der „Kette" zu Uebigau bei Dresden.

Dieser Feuerung wird der Brennstoff durch den Fülltrichter zugeführt, der die Kohlen durch ihre Gewichtswirkung zwischen die gegeneinander geneigten Roste treibt. Im Verhältniss des Abbrennens der Kohlen an dem andern Rost schieben sich die rückwärts gelegenen Schichten nach vorn, wobei sie zugleich eine Senkung erleiden müssen, und das frische Brennmaterial drängt nach. Der eigentliche Rost, durch welchen die Luft zugeführt wird, besteht aus gewöhnlichen Roststäben. Der vordere Rost dient dazu, die Brennmaterialschicht am Hauptrost zu halten. Der hintere Rost ist ein Röhrenrost. Sämmtliche Roströhren sind oben und unten durch Röhren verbunden und das Kesselwasser wird gezwungen, durch die Röhren zu strömen und

sie abzukühlen. Der Kessel wird durch diese Anordnung zu einem Zirkulationskessel. Zur Kühlung der vorderen Roststäbe dienen Wasserrinnen mit Wasserzuführung.

Die selbstthätige Brennstoffvertheilung vollzieht sich bei Braun- und Steinkohlen ganz regelmässig und die Feuerung arbeitet ohne besondere Aufmerksamkeit des Heizers rauchfrei. Wie bei allen Feuerungen mit ununterbrochener, gleichmässiger Brennstoffzuführung hält sich auch bei dem Donneley-Roste die Temperatur der Gase immer auf gleicher Höhe. Wird die Zugstärke verändert, so ändert sich auch die Verbrennungsgeschwindigkeit und die Anstrengung des Kessels. Zur Speisung der Kessel mit Donneley-Feuerung muss man reines Wasser verwenden, damit die Roströhren nicht durch Ansetzen von Kesselstein die Kühlung verlieren und durchbrennen. Auch das Ansetzen einer harten, asphaltartigen Schicht an die Röhren des vorderen Rostes gehört zu den Uebelständen, die eine weitere Verbreitung dieser sonst sehr guten Feuerung aufgehalten haben. Die Reparaturen an den Theilen, die der Feuerwirkung unmittelbar ausgesetzt sind, sind auch kostspielig. Dennoch giebt es viele Kesselanlagen (z. B. eine grosse Zuckerfabrik in Kopenhagen, welche fünf Kessel mit Donneley-Feuerung betreibt), bei denen sich dieser Rost dauernd bewährt, obwohl Steinkohlen gefeuert werden, die doch die Roste im Allgemeinen mehr anzugreifen geeignet sind als Braunkohlen. Der Donneley-Rost ist einfach aus dem nach unten brennenden Rost hervorgegangen. Kehrt man die Zugrichtung bei einem gewöhnlichen Planrost um, so schlagen die Flammen durch die Rostspalten und der frische Brennstoff kann über die ganze Rostfläche vertheilt werden, ohne dass Rauchbildung eintritt, weil das kalte, noch nicht entgaste Brennmaterial nicht, wie beim gewöhnlichen Rost, unmittelbar auf die Gluth- und Flammenschicht zu liegen kommt. Es ist dasselbe erreicht, als ob man bei einem nach oben brennenden Roste die Kohlen von unten her gleichmässig unter die Brennschicht drücken und dadurch erstere heben würde.

Die für rauchfreie Verbrennung gegebene natürliche Zonenfolge ist folgende:

1. Luft,
2. Frischer Brennstoff,
3. Vergasungs- und Mischungszone,
4. Entzündungszone,
5. Flammen- und Gluthzone.

Jede Feuerung, bei der diese Anordnung dauernd erhalten wird, ist rauchfrei.

Aehnliches erzielte man auch durch eine Beschickung

eines Flammrohr-Planrostes in der ersten Zeit der Entwickelung der Dampfmaschinen, als man das Flammrohr mit Brennstoff fast ganz vollstopfte. Es bildet sich dann gegen die Feuerbrücke zu durch Abrutschung eine schräge Feuerschicht, und die Luft gelangte, durch die destillirenden Kohlen hindurch, zur Mischung mit den Brenngasen, nach der Feuerschicht, wo eine vollständige Verbrennung der vorher gemischten Verbrennungselemente erfolgt.

Auch das „Vornaufgeben“, nachdem das Feuer vorher etwas zurückgeschoben ist, gehört zu jenen Beschickungsarten, welche bezwecken sollen, die eben besprochene Zonenfolge eines Feuers dauernd zu erhalten. Eine Annäherung an diese natürliche Beschickungsweise ist das Beschicken abwechselnd auf der linken und auf der rechten Seite des Rostes seiner Länge nach; eine Beschickungsweise, die bei weiten Flammröhren oder überhaupt bei breiten Rosten gut ausführbar ist.

3. Innenfeuerungen.

1. Der Planrost im Paucksch'schen Zweiflammrohrkessel in der Chamottefabrik von Villeroi & Boch in Dresden-Neustadt.

Wenn bei dieser Feuerung die Rauchbildung bei verhältnissmässig hoher Rostanstrengung bei Braunkohlenfeuerung gering war, so ist der Grund dafür in der Geschicklichkeit des Heizers zu suchen, sowie in den schon erwähnten Eigenschaften des Paucksch'schen Patentrohres.

2. Der Schreiber'sche Rost des Zweiflammrohrkessels der Dampfziegelei der Dresdner Baugesellschaft in Zschertnitz bei Dresden (Vers. XXIII).

Dieser Rost besteht aus zwei Theilen. Die erste Hälfte ist mit gewöhnlichen Längsroststäben versehen, die zweite Hälfte zeigt Querroststäbe. Der erste Rost steigt gegen die Feuerbrücke nur wenig an, während der zweite Rost eine starke Steigung besitzt. Auf dem Querrost soll das „durchgebrannte Feuer“ liegen und sich wallartig vor das frische Feuer des ersten Rostes legen. Die Luft soll durch den Querrost quer auf die Längsachse gleichmässig vertheilt werden.

Die Rauchbildung war nach dem jedesmaligen „Aufwerfen“ sehr erheblich, doch war sie jedesmal sehr bald beendigt. Wegen der sehr erschwerten Zugänglichkeit zum Fuchskanal mussten die Messungen an demselben unterbleiben.

3. Die Leach-Feuerung an dem Zweiflammrohr-Gallway-Kessel in der Sächs. Maschinenfabrik zu Chemnitz (Vers. XIII und XIV).

Die elegant aussehende, vor dem Flammrohr angebrachte Feuerung mit gewöhnlichen Planrosten wird von der Transmission betrieben. Sie besitzt Fülltrichter, aus welchen das Brennmaterial, Wasch-Steinkohle oder auch kleinere Nusskohle, durch die schieberartig hin und her bewegten, rahmenförmigen Messkästchen dem Gehäuse, in welchem ein Flügelrad rotirt (500 Umdrehungen in der Minute), zugemessen wird. Die Menge des durch die Rahmenschieber hindurchfallenden Brennstoffes kann durch horizontale Schieber, welche die Durchfallöffnung bestimmen, geregelt werden.

Eine vor der Auswurföffnung des Flügelradgehäuses um die horizontale Achse schwingende Klappe bewirkt, dass das Brennmaterial, indem es von der Klappe abprallt, gleichmässig als „Brennstoffregen“ über den Rost vertheilt wird. Diese Brennstoffaufgabe, im Prinzip eigentlich unrichtig, bewährt sich sehr gut, weil die jeden Augenblick auf den Rost gelangende Kohlenmenge sehr klein ist und sehr gleichmässig auf alle Theile des Rostes vertheilt wird.

Die fortwährend auf den Rost gestreuten Kohlenstückchen werden rasch entzündet und die Mischung der Gase mit Luft ist eine innige. Dazu tritt der günstige Umstand, dass die Feuerthüre, die bloss dazu dient, zuweilen den Rost zu reinigen, wenn sich Schlacken angesetzt haben sollten, im regelmässigen Betriebe geschlossen bleibt. Die Feuerung zeigt selbst bei grosser Rostbelastung nur sehr geringe Rauchbildung. In neuerer Zeit ist dieselbe auch für gröbere Kohlen mit Erfolg in Betrieb genommen worden.

4. Die Cario-Feuerung an dem Zweiflammrohrkessel der Sächs. Maschinenfabrik zu Chemnitz.

Der Rost bildet ein Dach, dessen First parallel mit der Achse des Kessels läuft; die Roststäbe liegen wie die Sparren. Die Beschickung erfolgt abwechselnd auf der einen und andern Seite des Dachrostes vom Firste aus. Das Brennmaterial wird in einer zylindrischen Büchse oder Patrone, die oben der ganzen Länge nach einen breiten Schlitz besitzt, über den First des Rostes entlang geschoben und gedreht; dabei fällt das Brennmaterial auf den Rost und gelangt entsprechend dem Abbrande an die Unterkante des Rostes, von wo die Schlackenabführung erfolgt. Bei der Einführung der Patrone mit dem Brennstoff, die vor der Füllung „von Hand“ in der Höhe der Einführungsöffnung auf einem Gestelle ruht, braucht keine Thüre geöffnet zu werden; die vorne weberschiffchenartig gebildete Patrone schiebt beim Eindringen die beiden Hälften der getheilten Klappe, welche die Einführungsöffnung verschliesst, zur

Seite. Beim Herausziehen der geleerten Patrone schliessen sich die Klappenflügel von selbst.

Bei dieser Feuerung erfolgt somit die Beschickung nicht ununterbrochen, sondern wie bei gewöhnlicher Handbeschickung. Es kann daher nicht ausbleiben, dass die verhältnissmässig grosse Menge von Brennstoff, die auf einmal nach dem Roste gelangt, eine Abkühlung und damit auch Russabscheidung hervorbringt.

Die übrigen Innenfeuerungen besassen gewöhnliche Planroste von bekannter Konstruktion, deren Einzelheiten überdies aus den Zeichnungen zu entnehmen sind. Nur der Planrost des Zweiflammrohr-Galloway-Kessels der Hermsdorf'schen Diamantschwarz-Färberei zu Chemnitz besitzt Pfeifen, welche hinter der Feuerbrücke Luft zuführen. Durch diese Luftzuführung, welche nicht regulirbar ist, und zu spät erfolgt, wird die beabsichtigte Wirkung nicht erreicht (vergl. Vers. XV), denn die Rauchstärke weist mit einem Wärmeverlust von 120 cal. für 1 *kg* Brennstoff die grösste mittlere Russmenge unter allen untersuchten Kesselfeuerungen auf.

Die Reihenfolge der Versuche nach der Stärke der Rauchbildung aufsteigend, zeigt Tabelle IV.

Tabelle IV. Russmenge auf 1 *kg* Brennstoff.

Feuerung	Brennstoffart	Versuchs-Nummer	Russ. *gr* auf 1 *kg* Brennstoff
Planrost I	Koke	XVIII	0,00
Planrost I	Koke	XVIII	0,00
Gasfeuerung	Generatorgas	XVI	0,00
Gasfeuerung	Generatorgas	XVII	0,00
Schrägrost I	Stein- u. Braunkohle	II	0,00
Donneley	Braunkohle	V	0,65
Schrägrost II	Stein- u. Braunkohle	III IV	— —
Schrägrost III	Braunkohle	VI	2,11
Schulz-Röber	Stein- u. Braunkohle	XX	2,37
Paucksch	Stein- u. Braunkohle	I	2,50
Cario	Steinkohle	XI	4,80
Schulz-Röber	Stein- u. Braunkohle	XXI	5,63
Leach	Wasch-St.-K. und St.-Nusskohle	XIII	5,65
Leach	Wasch-St.-K. und St.-Nusskohle	XIV	6,04
Helix	Knörpel-Steinkohle	X	6,24
Cario	Wasch-St.-Kohle	XII	7,46
Schrägrost IV	Steinkohle	VII	7,50
Schrägrost IV	Stein- u. Braunkohle	XIII	9,76
Planrost II	Steinkohle	IX	12,00
Schulz-Röber	Steinkohle	XXII	13,41
Planrost III	Stein-Knörpelkohle	XV	14,80

NB. Der Werth 2,50, bei Versuch I, ist schätzungsweise bestimmt. Die Rauchstärke bei Versuch XXIII war eine mittlere.

Nach diesen Ergebnissen stellt sich, abgesehen von jenen Feuerungen, die nur Spuren von Rauch ergaben, die Rauchstärke der am stärksten rauchenden der untersuchten Feuerungen (Planrost, Färberei Hermsdorf bei Chemnitz) zu der Rauchstärke der rauchfreiesten wie:

22,7 : 1,

die mittlere Rauchstärke der rauchfreien Feuerungen, mit Ausschluss der Generatorgas- und Koke-Feuerungen, zu der der Planrostfeuerung bei Versuch XV wie:

0,334 : 1.

Die Feuerung des Kessels in der Färberei zu Chemnitz entwickelte am Tage des Versuches nicht ihre grösste Rauchstärke, die sie zu einer der gefürchtetsten in ganz Chemnitz machte. Der Grad der Rauchbildung hat dem Aussehen nach etwa $^2/_3$ der vollen Rauchstärke betragen.

Graphische Uebersicht der Hauptergebnisse.

Im Diagramm 1 sind die Luftmengen $L = m L_0'$ für 1 *kg* Brennstoff, der Wirkungsgrad der Kesselanlage für sämmtliche Versuche, geordnet nach der Heizflächen-Anstrengung $\frac{B H_c}{F}$, durch die gebrochenen Linien dargestellt, welche die für die einzelnen Versuche gefundenen Werthe, die als Ordinaten aufgetragen sind, verbinden. Der Verlust durch die Russbildung ist in Calorieen aufgetragen und durch die stark gezogenen Vertikalen dargestellt.

Die Heizflächen-Anstrengung steigt von 8330 cal bis 27553 (die gewöhnliche Angabe der Heizflächen-Anstrengung durch den Werth $\frac{B}{F}$, die besser als Heizflächen-Belastung bezeichnet wird, geht nicht parallel mit $\frac{B H_c}{F}$).

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung, dass der Wirkungsgrad im Allgemeinen mit der Heizflächen-Anstrengung abnimmt. Dieses Ergebniss stimmt mit den bisherigen Erfahrungen und mit der Theorie überein. Es muss dabei bemerkt werden, dass die Luftmenge, die für 1 *kg* Brennstoff zugeführt wurde, bei dieser Anordnung der Versuche mit zunehmender Heizflächen-Anstrengung eher zugenommen hat; die Zunahme ist jedoch nicht sehr beträchtlich. Würde man stets gleiche Luftmengen zugeführt haben, so hätte der Wirkungsgrad η weniger abgenommen, weil dieselbe

Heizfläche eine ihr gebotenen Wärmemenge eine geringere Gasmenge von hoher Temperatur besser ausnützen kann, als eine grössere Gasmenge von entsprechend niedrigerer Temperatur.

Wie sehr die zugeführte Verbrennungsluftmenge auf den Wirkungsgrad einwirkt, erkennt man aus den starken Sprüngen, welche die im allgemeinen fallende Wirkungskurve an denjenigen Stellen macht, wo die Linie für die Luftmengen entgegengesetzt verläuft. Wenn diese Gegenbewegung nicht an allen Stellen stattfindet, so kommt dies daher, dass die Versuchsergebnisse verschiedenen Kessel- und Feuerungssystemen angehören, die man streng genommen nicht ohne Weiteres miteinander vergleichen darf. Eigentlich dürfte man den Einfluss der Heizflächen-Belastung im

Die Russmengenordinaten schliessen sich zu Anfang und gegen Ende des Diagramms sehr eng an die Luftmenge L an, aber in dem ganzen Gebiete von V bis XX und dann wieder bei XVII und I ist die Uebereinstimmung nicht vorhanden. Es ist jedoch sicher, dass die grössten Russmengen bei den grossen und grössten Luftmengen auftreten. Scheidet man die Versuche aus, welche Planroste betreffen (IX und XV), und fasst nur die „rauchfreien“ Feuerungen ins Auge, so tritt diese Beziehung immer noch deutlicher hervor.

Man erkennt aus dem Diagramm 1:

1. dass im Allgemeinen die Russmenge mit der Luftmenge zunimmt, dass aber die „rauchfreien“ Feuerungen bei grossem Luftüberschuss ungleich weniger Rauch er-

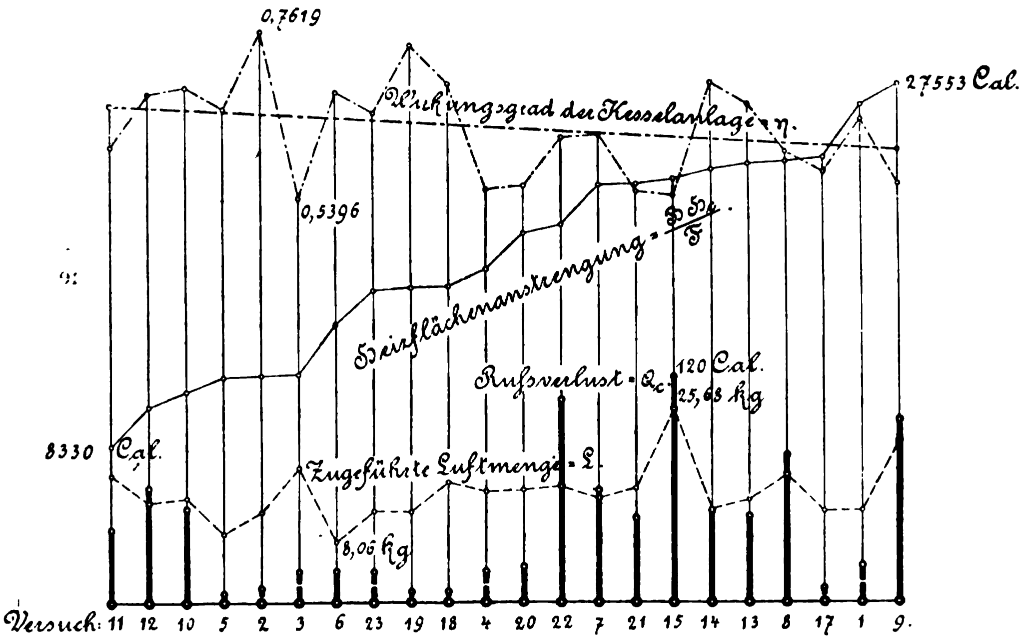


Diagramm 1.

Verein mit der Luftmenge nur an einem und demselben Kessel studiren. Mit entsprechender Rücksichtnahme auf diesen Umstand kann man aber auch bei dem vorliegenden Diagramm den prinzipiellen Zusammenhang der erwähnten Faktoren erkennen. Die Linie für η steigt nur da, wo sich die Linie für die Luft von niedrigen Werthen langsam hebt (Vers. VI, XXIII, XIX, XVIII). In allen übrigen Gebieten ist die Gegenbewegung auffallend deutlich zum Ausdruck gelangt, besonders bei den Ordinaten für die Versuche V, — II, — III, — VI, ferner bei XXI, → XV und bei XV, — XIV, — XIII, — VIII und so fort.

zeugen, als gewöhnliche Feuerungen. Die kleinsten Rauchmengen fallen aber nicht immer mit den relativen oder absoluten Minimalwerthen der Luftmenge zusammen. Die Art des Brennmaterials wird natürlicher Weise bei den Vergleichen mit in Betracht gezogen werden müssen und bei Brennstoffen mit verschiedenem Gasreichthum wird der Zusammenhang von Luftmenge und Russbildung nicht deutlich zum Ausdruck kommen, oder sogar verschwinden. Rauchfrei brennende Stoffe, wie Koke, Anthrazit und manche Lignitarten werden unabhängig von der Luftmenge das Feuer rauchfrei halten.

2. Die verbreitete Ansicht, dass zur Verhütung des Rauches grosser Luftüberschuss

nothwendig sei, findet durch das Diagramm 1 keine Bestätigung, im Gegentheil, der grosse Luftüberschuss ist der Rauchbildung förderlich. Dass der Wirkungsgrad mit zunehmender Russbildung fällt, kommt nur daher, dass eben der Wirkungsgrad bei zunehmender Luftmenge fallen muss.

3. Die Menge des ausscheidenden Russes hat selbst bei Feuerungen, die stark rauchen, auf den Wirkungsgrad oder auf die Ausnützung des Brennstoffes zunächst deshalb keinen wesentlichen Einfluss, weil sie im Vergleich mit der verbrauchten Brennstoffmenge sehr gering ist, obwohl sie

kann, nur 1,465 *g* wog. 1 *cbm* Russ wiegt demnach 11,1 *kg*. Im angeführten Falle würden demnach stündlich 0,457 *cbm* Russ mit den Gasen dem Schornstein entschweben der in einer Gasmenge von etwa 7070 *cbm* vertheilt ist.

Bedenkt man, dass die aus dem Diagramm zu entnehmende Russmenge die mittlere Russdichte darstellt, und dass also zeitweilig, gleich nach dem Aufgeben des Brennstoffes auf zwei Minuten die Rauchdichte ein Vielfaches der mittleren werden kann, während mehrere Minuten lang fast kein Rauch dem Schornsteine entsteigt, so erhält man die Vorstellung, dass die 14,8 *g*

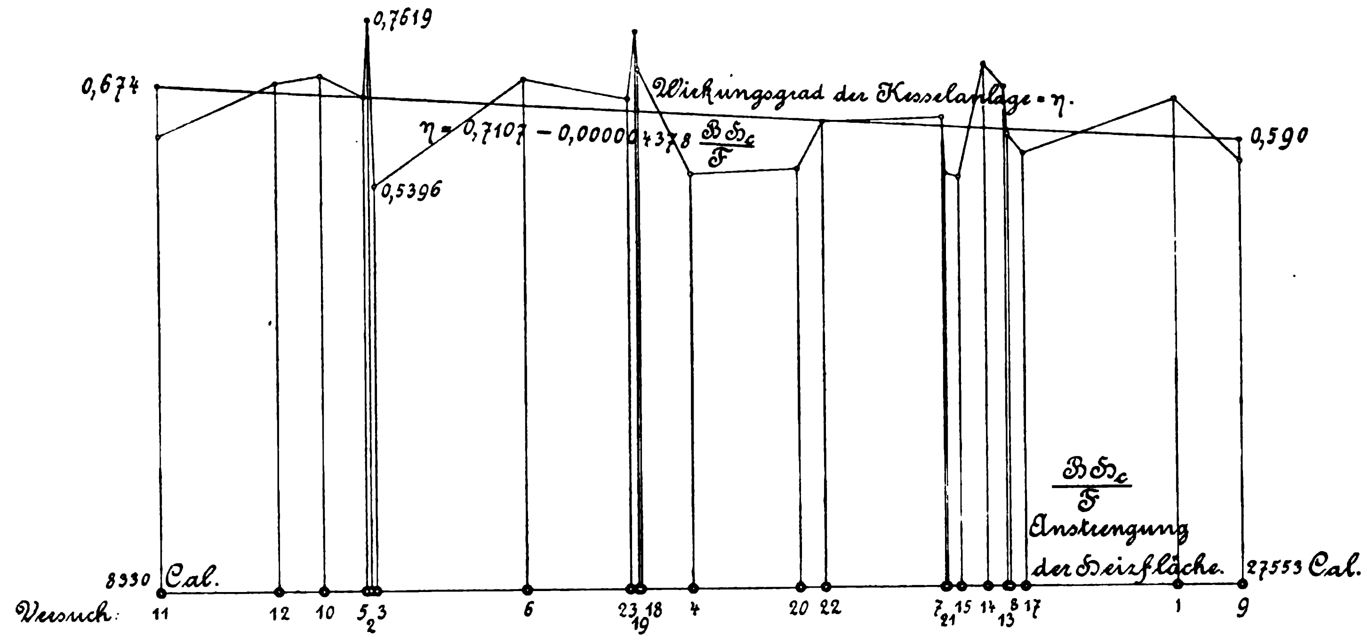


Diagramm 2.

optisch, dem Ansehen nach, oft sehr beträchtlich erscheint.

Der grösste Verlust, der bei vorliegenden Versuchen zu verzeichnen war, beträgt 120 cal. für 1 *kg* Brennstoff (Versuch XV), obwohl die Planrostfeuerung dieses Kessels als eine rauchende, mit dem Rauchdichtengrade 3—4 zu bezeichnen ist. 14,8 *g* Kohlenstoff werden in Form von sehr feinem Russ, der ein Reduktionsprodukt und deshalb ausserordentlich fein und locker ist, in die Luft getragen.

Da beim Versuch XV stündlich 343,57 *kg* Zwickauer Kohlen auf den Rost gelangten, so entstieg dem Schornsteine stündlich die Menge von 5,0848 *kg* Russ. Eine vom Berichterstatter angestellte Untersuchung ergab, dass 132 *cbcm* aufgefangener, getrockneter, erhitzter Russ, der so fein war als man ihn überhaupt erlangen

Russ für jedes *kg* Brennstoff zusammengedrängt auf zehn kleine Zeiträume von zwei Minuten, eine starke Rauchbelästigung für die Umgebung bewirken können.

Im Diagramm 2 sind die Heizflächen-Anstrengungen als Abscissen aufgetragen und der Wirkungsgrad ist durch die Ordinaten dargestellt.

Der Verlauf der η-Linie ist dadurch in geometrisch richtigen Zusammenhang mit $\frac{BH_c}{F}$ gebracht. Die allgemeine Senkung von 0,674 auf 0,590, welche durch die ausgleichende geneigte Grade dargestellt ist, entspricht einer Steigerung der Anstrengungen von 8330 cal. auf 27553 cal. Bei mehr als dreifacher Anstrengung der Heizfläche hat demnach der Wirkungsgrad um 8,4 % abgenommen und der Brennstoffverbrauch um 12,4 % zugenommen. Der Ausfall an Brennstoff-Aus-

nutzung ist so beträchtlich, dass man eine hohe Anstrengung mit Recht auch in ökonomischer Beziehung verwerfen muss.

Endlich muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Behandlung des Feuers, die Art des Aufgebens des Brennstoffes und eine richtige Zugregelung von tiefgreifendem Einfluss auf die Rauchentwickelung und die Brennstoffausnützung sind.

Ein geschickter Heizer bietet oft auch die beste Gewähr für eine rauchfreie oder rauchschwache Feuerführung.

Das Diagramm 3 zeigt ferner, dass die eigentlichen rauchfreien Feuerungen gegen die Grösse der Anstrengung des Rostes wenig empfindlich sind (siehe Vers. XX, XXI, V, X, III, XXIII, XVII und besonders VI, sowie II und IV).

Die rauchfreien Feuerungen gestatten sogar eine beträchtliche Steigerung der Rostbelastung; man kann sie bis zu einem gewissen Grade „forciren". Dass Vers. XXII (Schulz-Röber-Feuerung) bei mässiger Rostanstrengung doch verhältnissmässig starken Rauch entwickelt hat, rührt davon her, dass die Vertheilung des Brennstoffes, nur durch zwei Schnecken bewirkt, nicht immer gleichmässig über den ganzen Rost erfolgte und ein Eingreifen des Heizers vermittelst des Schüreisens öfter nothwendig wurde. Die Anordnung dreier Schnecken, der Rostbreite mehr entsprechend, würde bei dem Versuch XXII ein besseres Ergebniss zur Folge gehabt haben.

Es zeigt sich in Diagramm 3 für Planrostfeuerungen in ausgesprochener Weise der Einfluss der Rostbelastung auf die Rauchentwickelung. Die Russmenge nimmt sichtlich zu, wenn die Brennstoffmenge $B_0 = \frac{B}{R}$ zunimmt. Es ist dies eine alte Erfahrung und das wirksamste Mittel, die Rauchbildung zu verringern, oder sogar fast ganz zu vermeiden, ohne zu besonderen rauchverzehrenden Feuerungskonstruktionen seine Zuflucht nehmen zu müssen, ist geringe Rostanstrengung. Im Diagramm 3 ist für die Versuche mit Planrostfeuerungen (Vers. X und XV) eine Zunahme der Russmenge, wo die Rostbelastung eine hohe ist, zu beobachten. Wenn auffallender Weise der Versuch I mit dem Planrost bei dem Paucksch-Kessel eine geringe Russmenge ergab, so rührt dies daher, dass das durch die eigenthümliche Form des Flammrohres bewirkte „Nachbrennen", wie schon erwähnt, eine rauchfreiere Verbrennung zur Folge hat.

Die Störung des Feuers durch „Schüren" und „Schlacken", besonders wenn es noch nicht völlig durchgebrannt ist, bewirkt stets starke Russabscheidung. Es kann mit Beziehung hierauf der Satz aufgestellt werden, dass jedes Feuer nach der ersten Periode, der Schwäl-

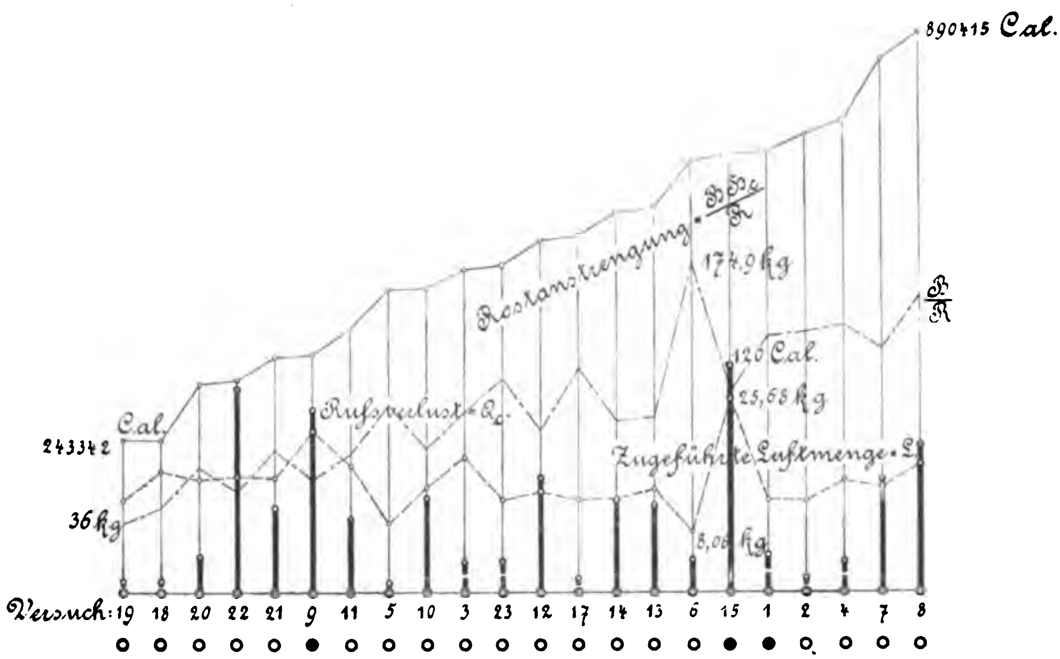


Diagramm 3.

oder Vergasungsperiode, rauchfrei brennt, wenn es ungestört bleibt.

Während der Vergasungsperiode muss wegen der raschen Entwickelung grosser Mengen brennender

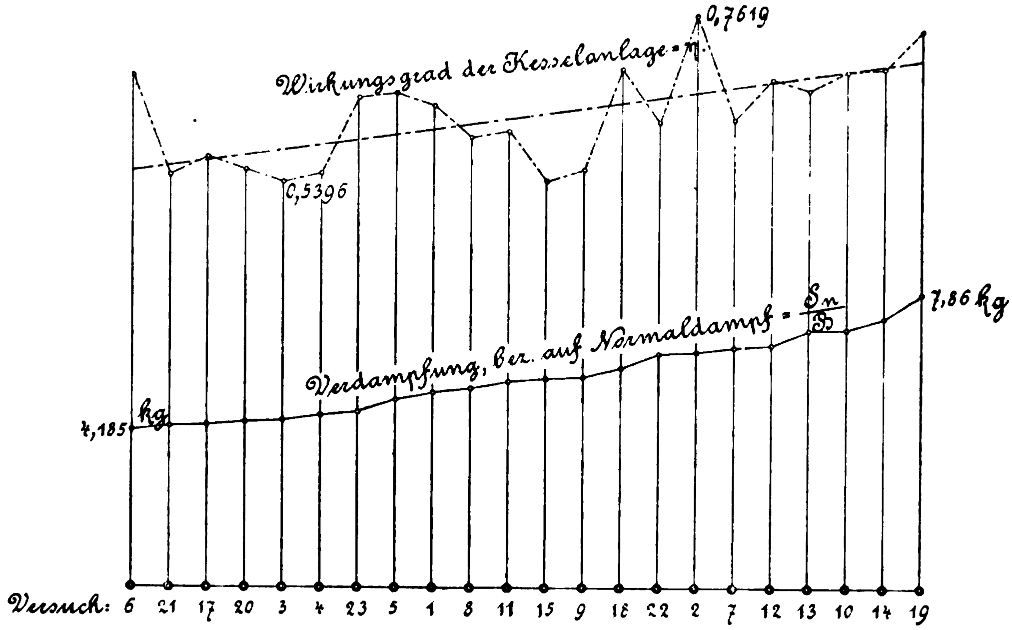


Diagramm 4.

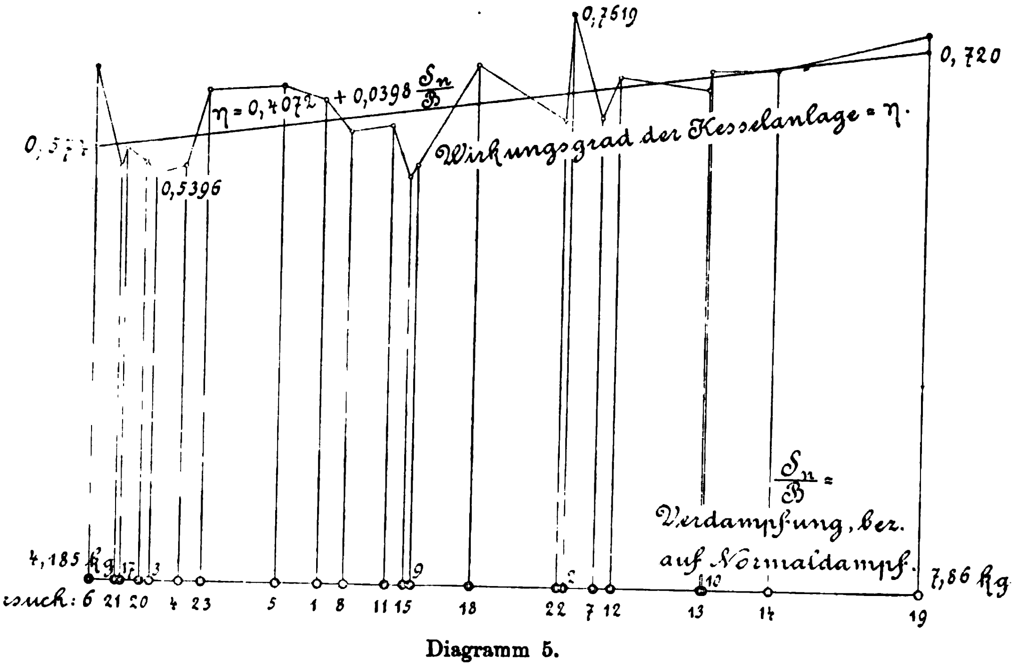


Diagramm 5.

Gase (Kohlenwasserstoffe) auch eine **grosse Menge Verbrennungsluft** zugeführt werden.*)

*) Für diesen Zweck eignen sich die in neuerer Zeit besonders bei Handbeschickung vielfach mit gutem Erfolg angewendeten Zugregler.

Die Zuführung der Verbrennungsluft muss jedoch so geschehen, dass sich dieselbe mit den Brenngasen möglichst vollkommen mischt, ehe sie mit denselben in die Flammen oder Gluthzone gelangt. Bei Handbeschickung in einzelnen „Chargen" muss daher der Zug durch den Heizer gleich nach dem „Aufgeben" verstärkt und nach dem Durchbrennen für die übrige Zeit der Verbrennungsperiode möglichst abgeschwächt werden. Letzteres muss geschehen, um die Ausnützung des Brennstoffes

nicht durch Zuführung von zu grossen Mengen überschüssiger Luft herab zu ziehen.

Das Diagramm 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der Verdampfung $\left(\frac{S_n}{B}\right)$, dem Brennstoffe nach, und dem Wirkungsgrade des Kessels.

Die Verdampfung steigt von 4,185 *kg* bis 7,86 *kg*; mit ihr steigt der Wirkungsgrad, wie es sein muss. Wenn hier das Minimum des Wirkungsgrades mit $\eta_{\text{min.}} = 0,5396$ nicht mit dem Minimum der Verdampfung zusammenfällt, so hat dies darin seinen Grund,

Die Anfangstemperatur hängt hauptsächlich von dem Werthe $\frac{H_c}{G_0}$ ab und

$$G_0 = (1 + m L_0' - \mu - \mu_f) = 1 - (\mu + \mu_f) + \frac{m}{n} O_0$$

hängt von der Sauerstoffmenge ab, die für 1 *kg* Brennstoff erforderlich ist.

Diese aber ist:

$$O_0 = \frac{8}{3} C + 8H - O + S$$

so, dass für geringe Werthe von C und grosse Werthe

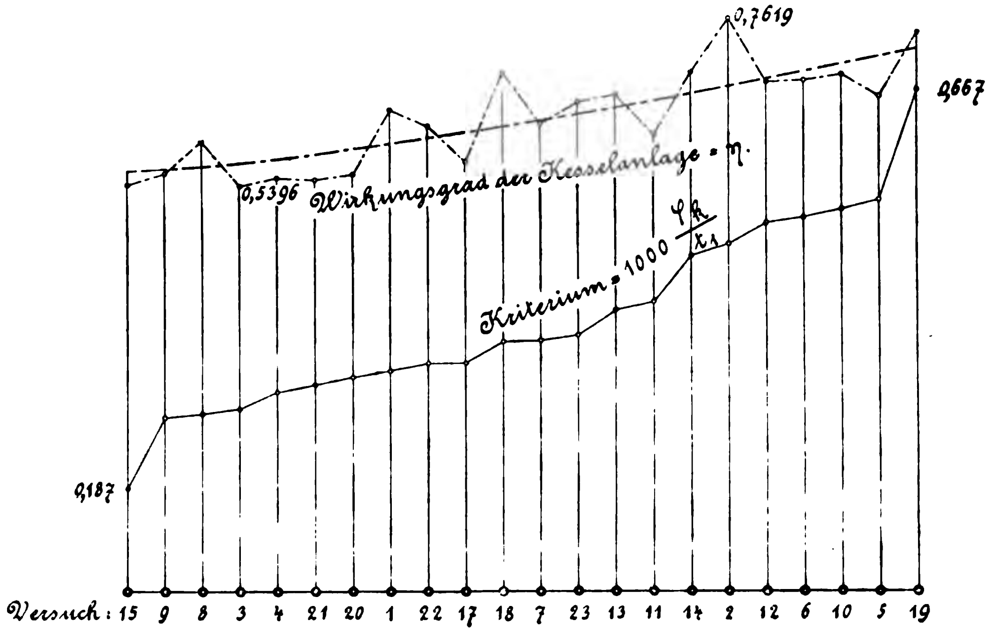


Diagramm 6.

dass, wie schon hervorgehoben wurde, das Diagramm nicht die Veränderlichkeit beider Werthe an einem Kessel darstellt, sondern von verschiedenen Kesselsystemen, von denen allerdings die meisten sehr ähnlicher Art sind.

Die Güte des Brennstoffs kommt im Wirkungsgrade nicht zum Ausdruck; wenigstens nicht in erheblicher Weise. Es ist auch leicht einzusehen, dass man durch entsprechend grosse Heizflächen gleiche Mengen von Gasen der verschiedensten Brennstoffe gleich gut ausnützen kann, wenn sie gleiche Temperatur besitzen. Die Temperatur der Verbrennung hängt nun zwar von dem Heizwerth des Brennstoffes, aber auch von der Luftmenge, die zur Verbrennung nothwendig ist, ab. Verbrennt man daher mit demselben Verhältniss des Luftüberschusses, so wird für „schlechten" Brennstoff die Gasmenge geringer; aber die Temperatur kann dieselbe werden, wie für „guten" Brennstoff.

von O, bei geringwerthigem „schlechten" Brennstoff, O_0 gleichzeitig mit H_c abnimmt.

In Diagramm 5 sind die Werthe der Verdampfung nach B (Normaldampf für 1 *kg* Brennstoff) zu Abscissen gemacht, während η die Ordinaten bildet.

Die nach rechts fallende gerade Linie drückt den Zusammenhang zwischen η und $\frac{S_n}{B}$ annähernd durch die empirische Formel:

$$\eta = 0,4072 + 0,0398 \frac{S_n}{B}$$

aus.

(Diagramm 6). Das „Kriterium" einer Kesselanlage

$$K = 1000 \frac{\varphi_k}{t_1},$$

also der Quotient vom 1000 fachen des Kohlensäure-

gehaltes und der Endtemperatur der Gase steht in einem gewissen Zusammenhange mit dem Wirkungs-

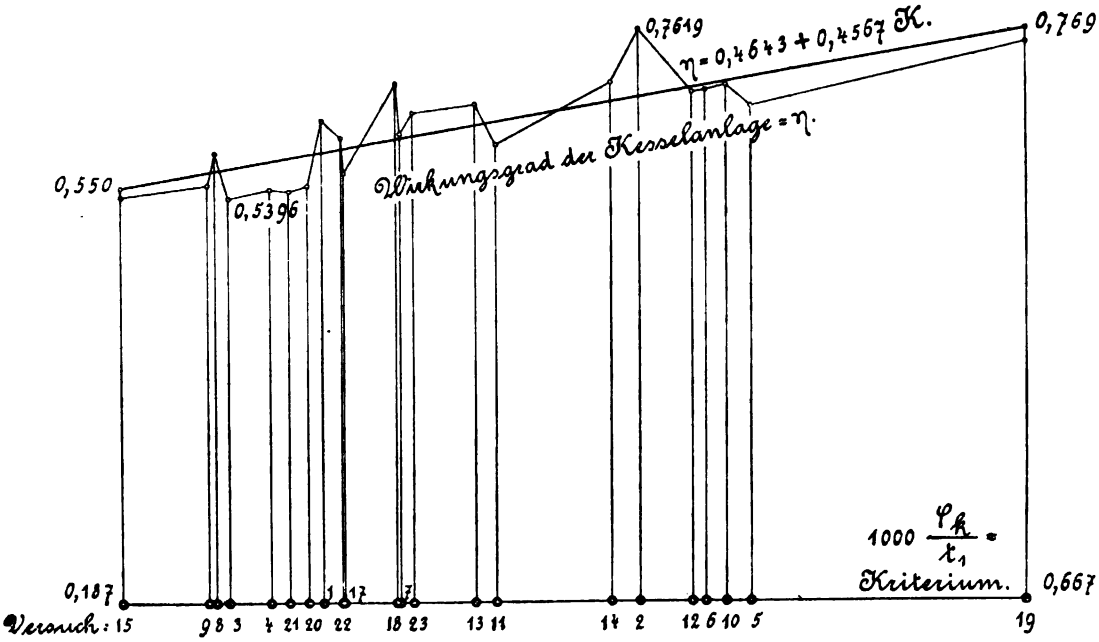


Diagramm 7.

grade und man braucht nur die Werthe des Diagramms 6, wie es in Diagramm 7 geschehen ist, in geometrische Abhängigkeit zu bringen, um für η eine empirische Formel zu erhalten, in welcher ausser den Konstanten nur das Kriterium vorkommt.

Es ist $\eta = 0{,}4643 + 0{,}4567\,K$.

K kann man in der kürzesten Zeit für eine Kesselanlage bestimmen.

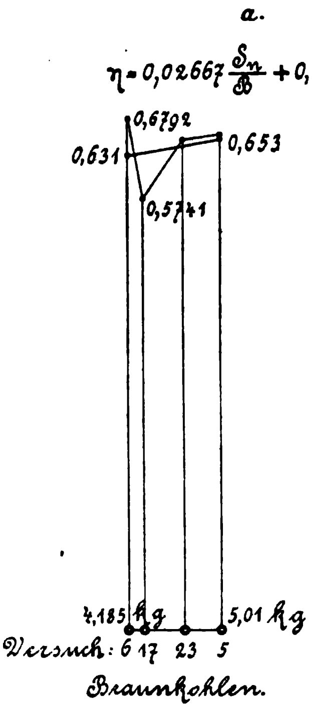


Diagramm 8a.

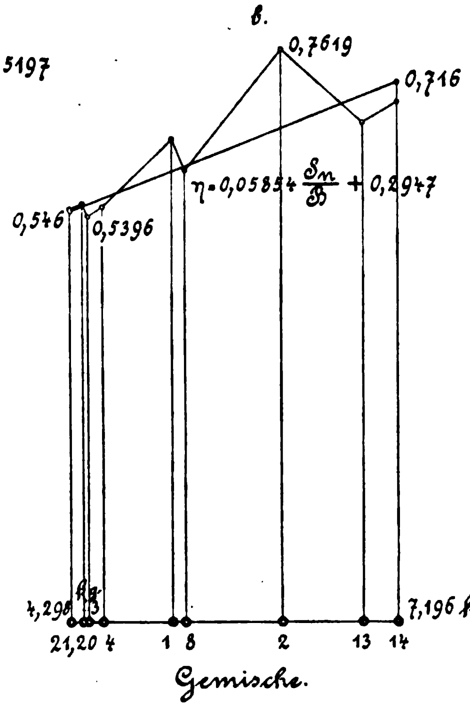


Diagramm 8b.

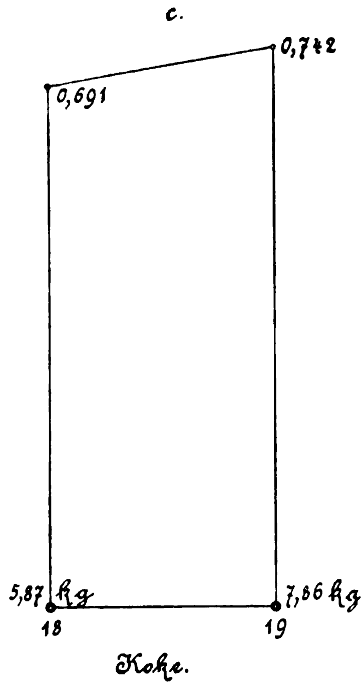


Diagramm 8c.

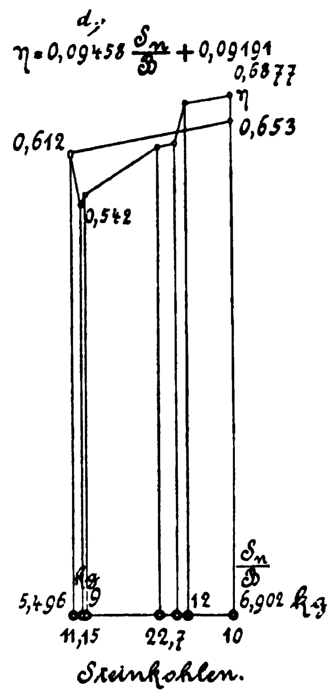


Diagramm 8d.

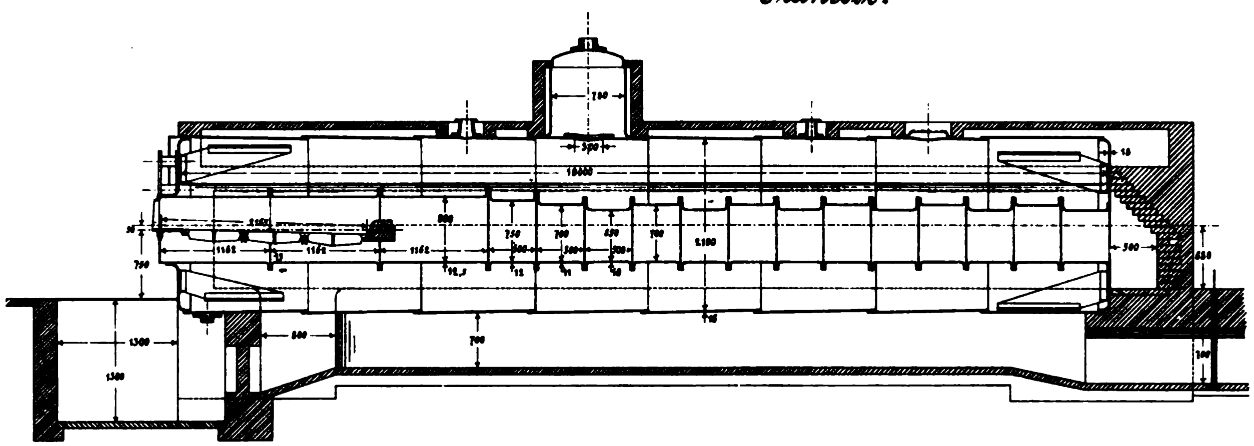
Die hier eingeschriebenen empirischen Formeln für η geben nur annähernde Werthe und gelten nur für die bei den vorliegenden Versuchen verwendeten Brennstoffe.

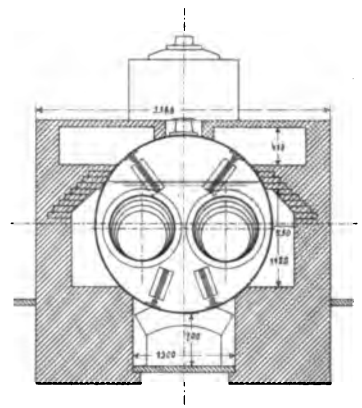
Hat man eine Kohlensäureanalyse und eine Temperaturmessung am Fuchs gemacht, so kennt man sofort das Ausnützungsverhältniss oder den „Wirkungsgrad". Ist an dem Kessel eine Kohlensäure-Wage (Dasymeter) und ein Pyrometer angebracht (letzteres bloss für die Zeit der Messung eingeführt), so kann man den Wirkungsgrad aus der oben angegebenen Kurve für η sofort finden, indem man das abgelesene K als Abscisse in das Diagramm einträgt. Aber schon die blosse Bestimmung von K durch die beiden Ablesungen φ_k und t_1 giebt bei einiger Uebung im Abschätzen den ökonomischen Stand des Kesselbetriebs an.

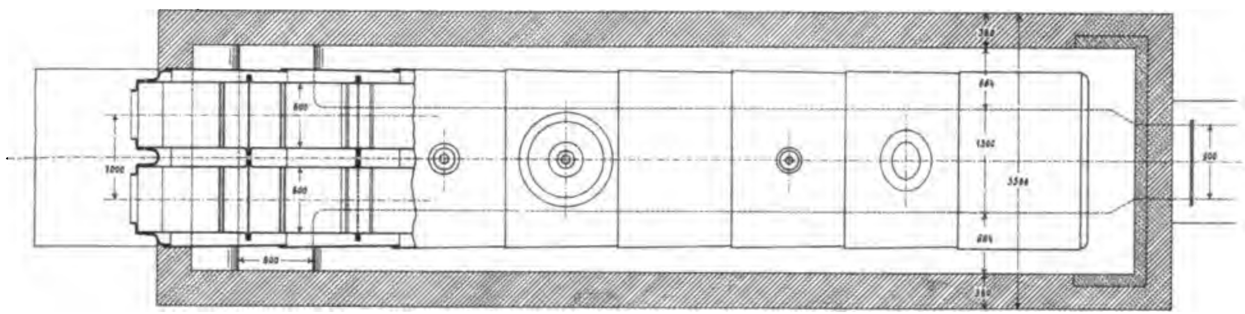
Die Diagramme unter 8 a, b, c und d zeigen die Verdampfungen für 1 *kg* Kohle und die zugehörigen Wirkungsgrade der Kesselanlagen, a) für Braunkohlen, b) für Gemisch, c) für Koke und d) für Steinkohlen.

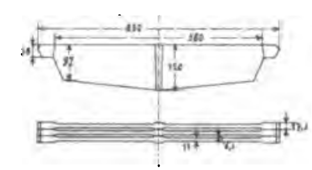
Druck von C. Grumbach in Leipzig.

Versuch I.
Pauckschkessel.
Planrost.



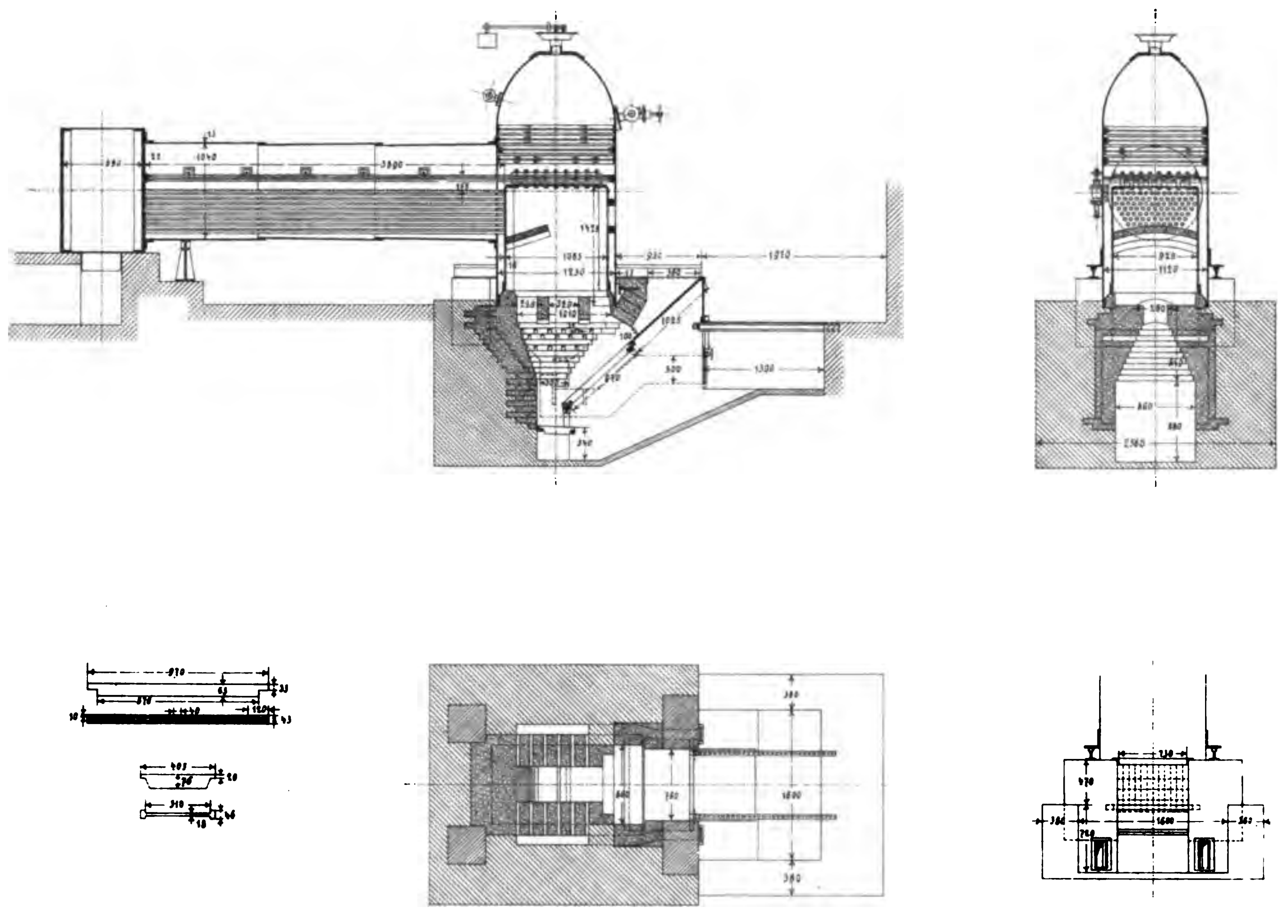






Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

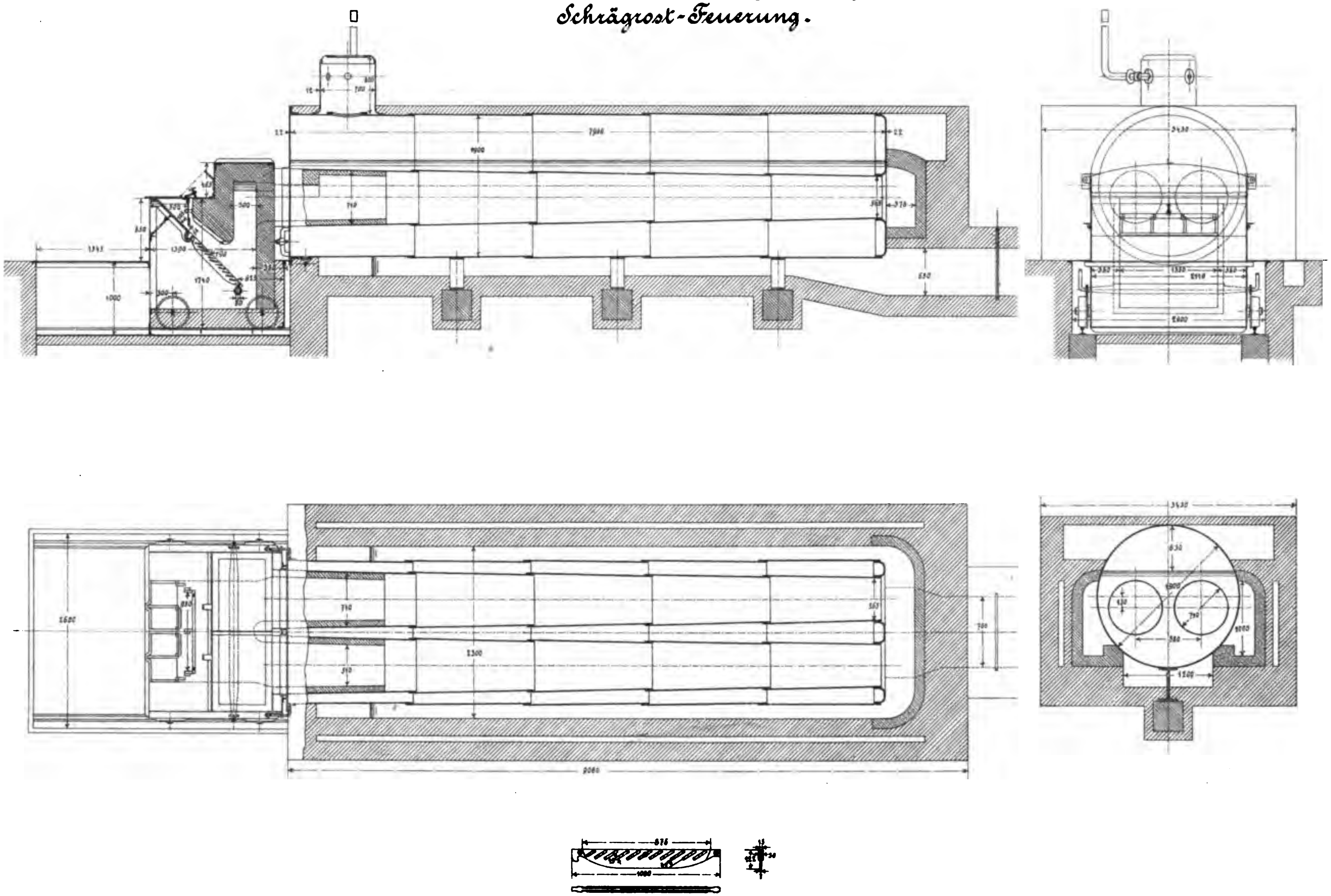
Versuch II.
Stationärer Lokomotivkessel
Schrägrost-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

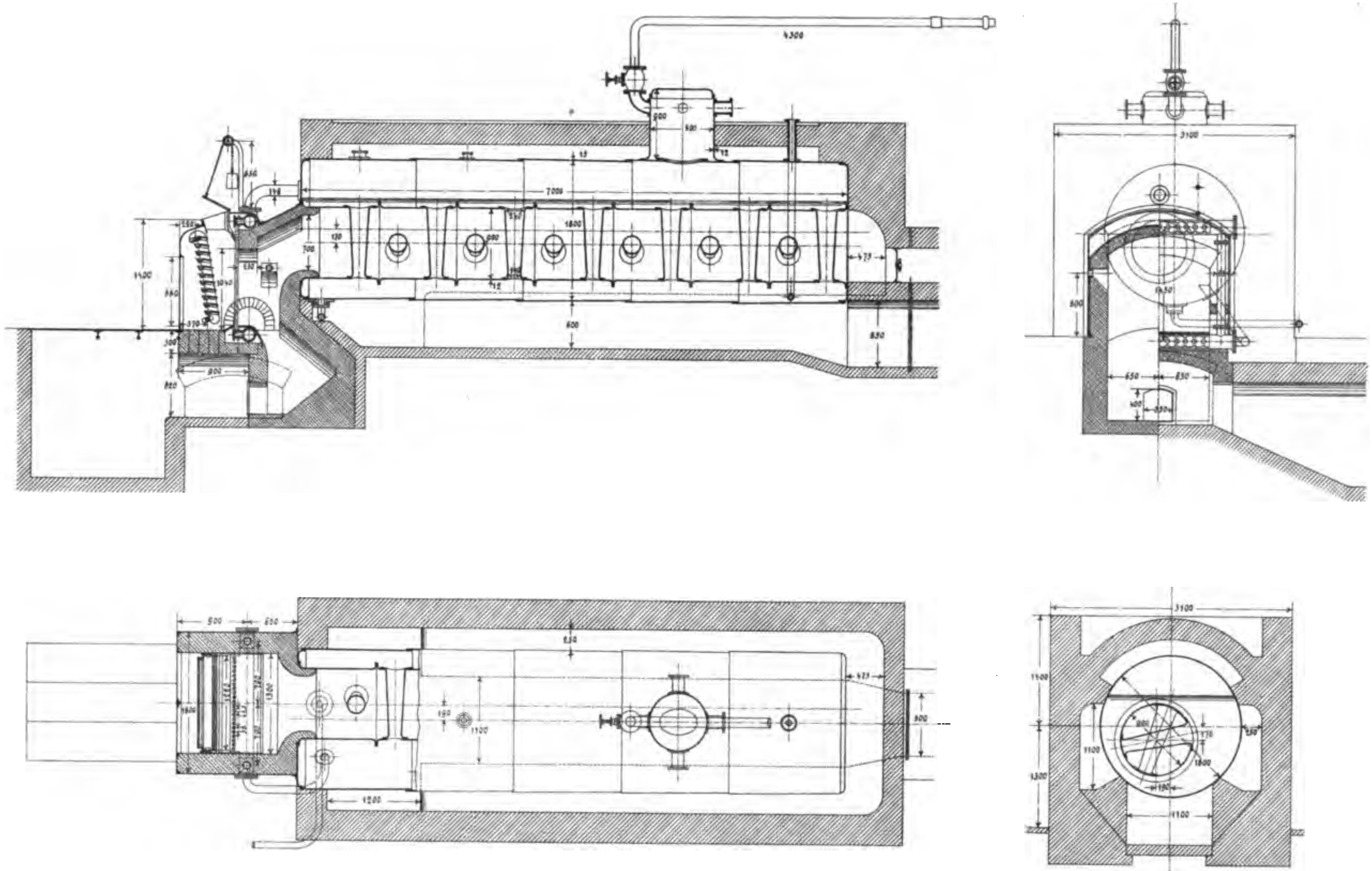
Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch III und IV.
Cornwallkessel mit Vorfeuerung.
Schrägrost-Feuerung.



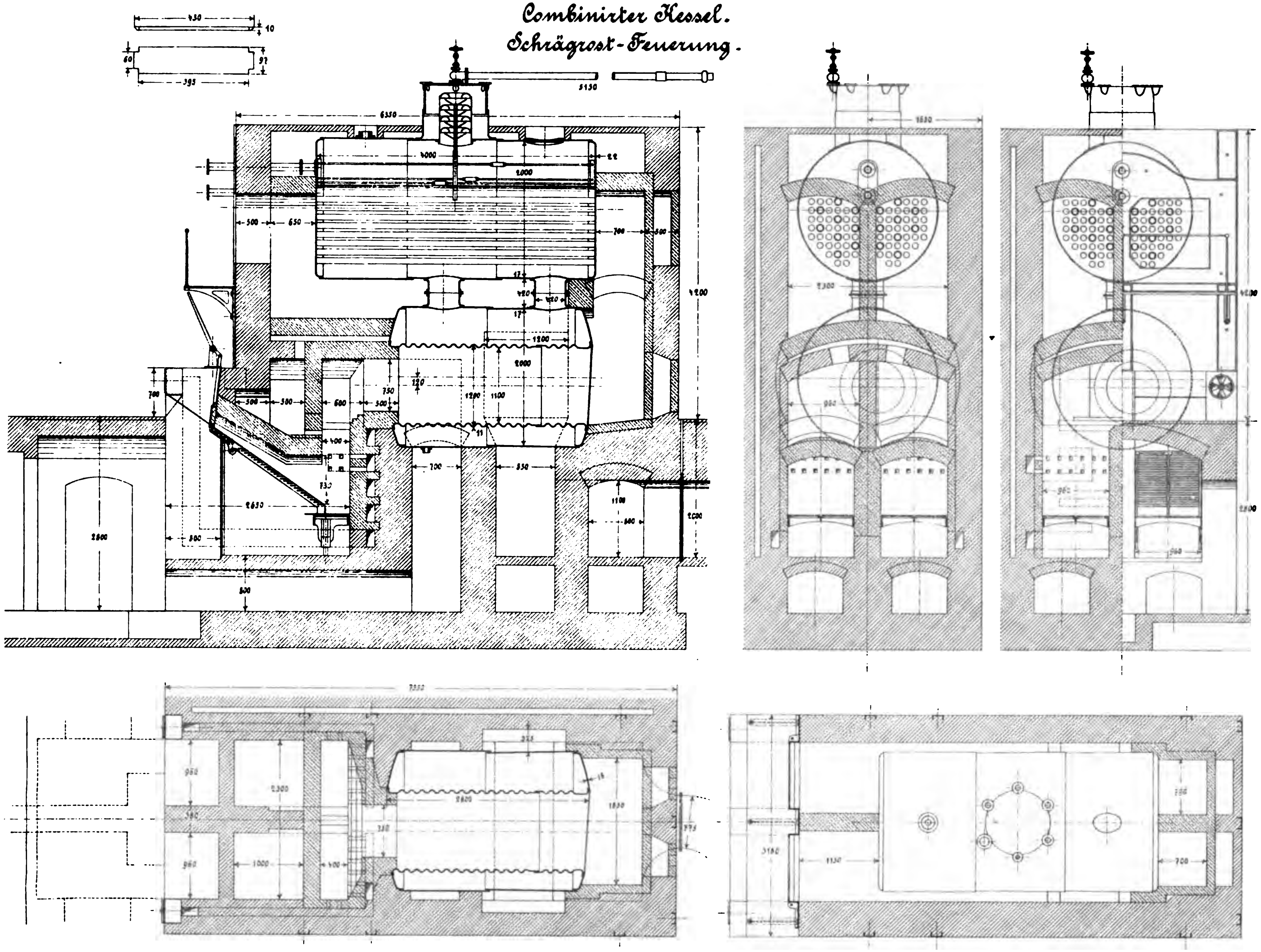
Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch V.
Gallowaykessel.
Donneley-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

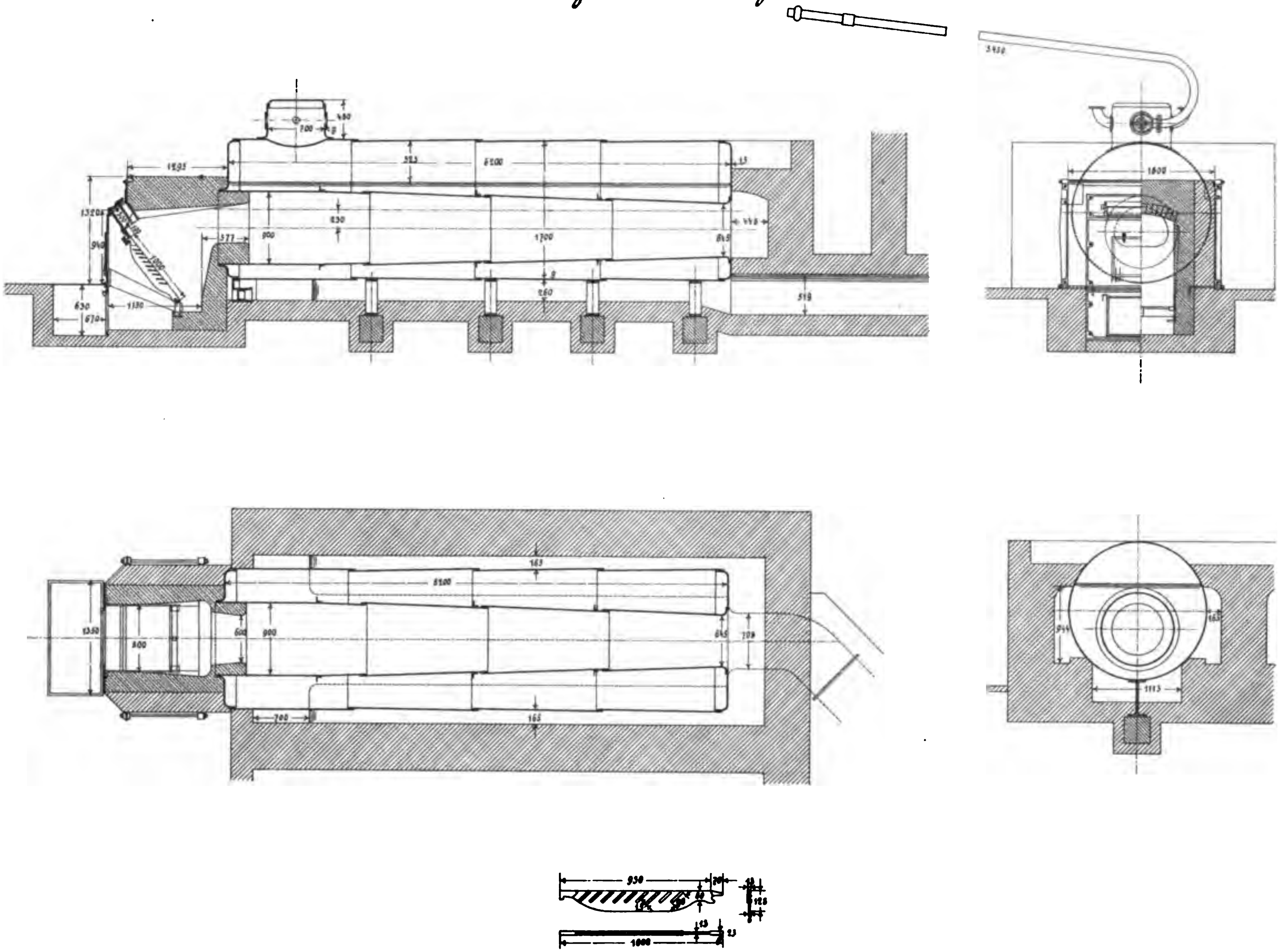
Versuch VI.
Combinirter Kessel.
Schrägrost-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

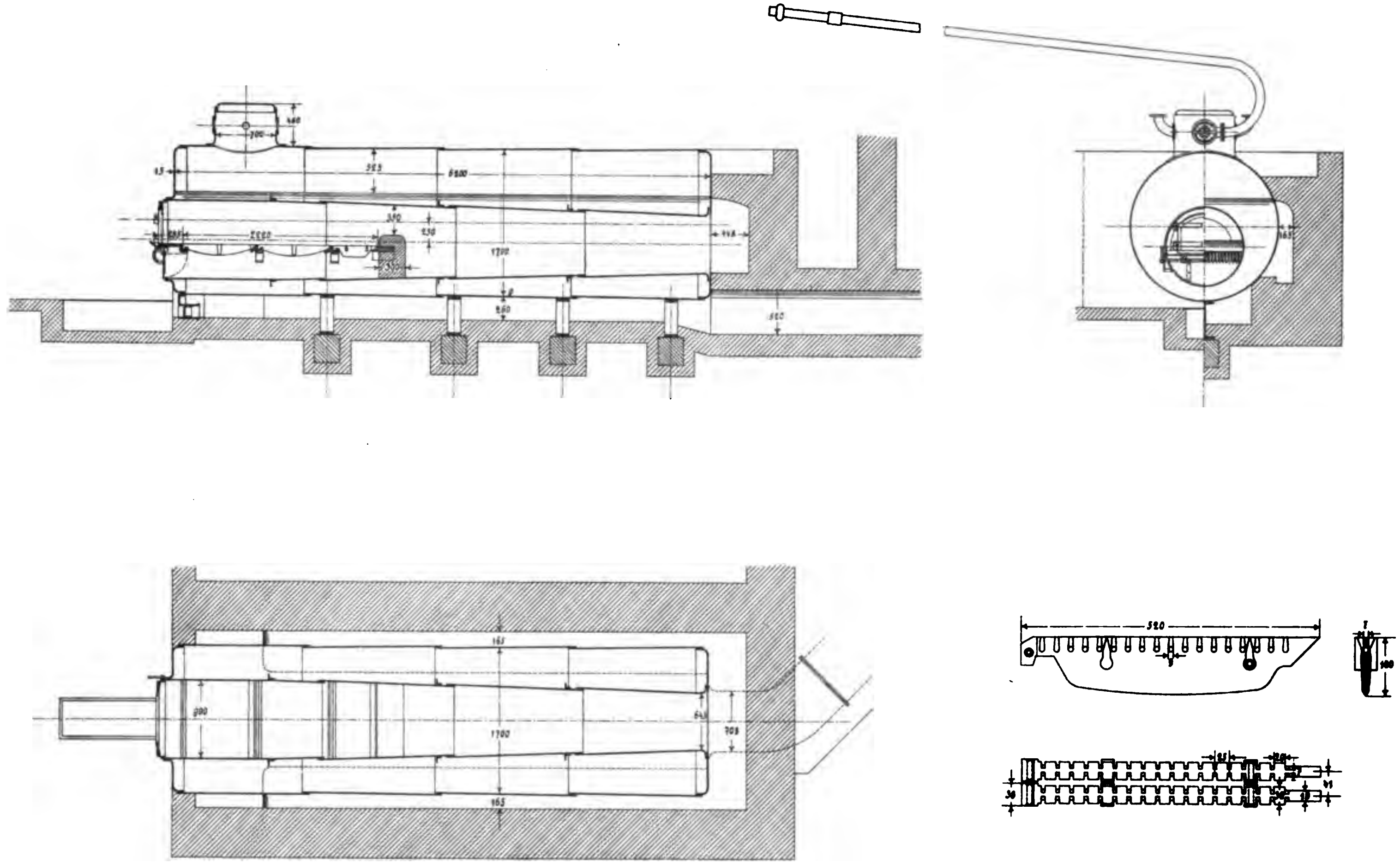
Versuch VII und VIII.
Cornwallkessel mit Vorfeuerung.
Schrägrost-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

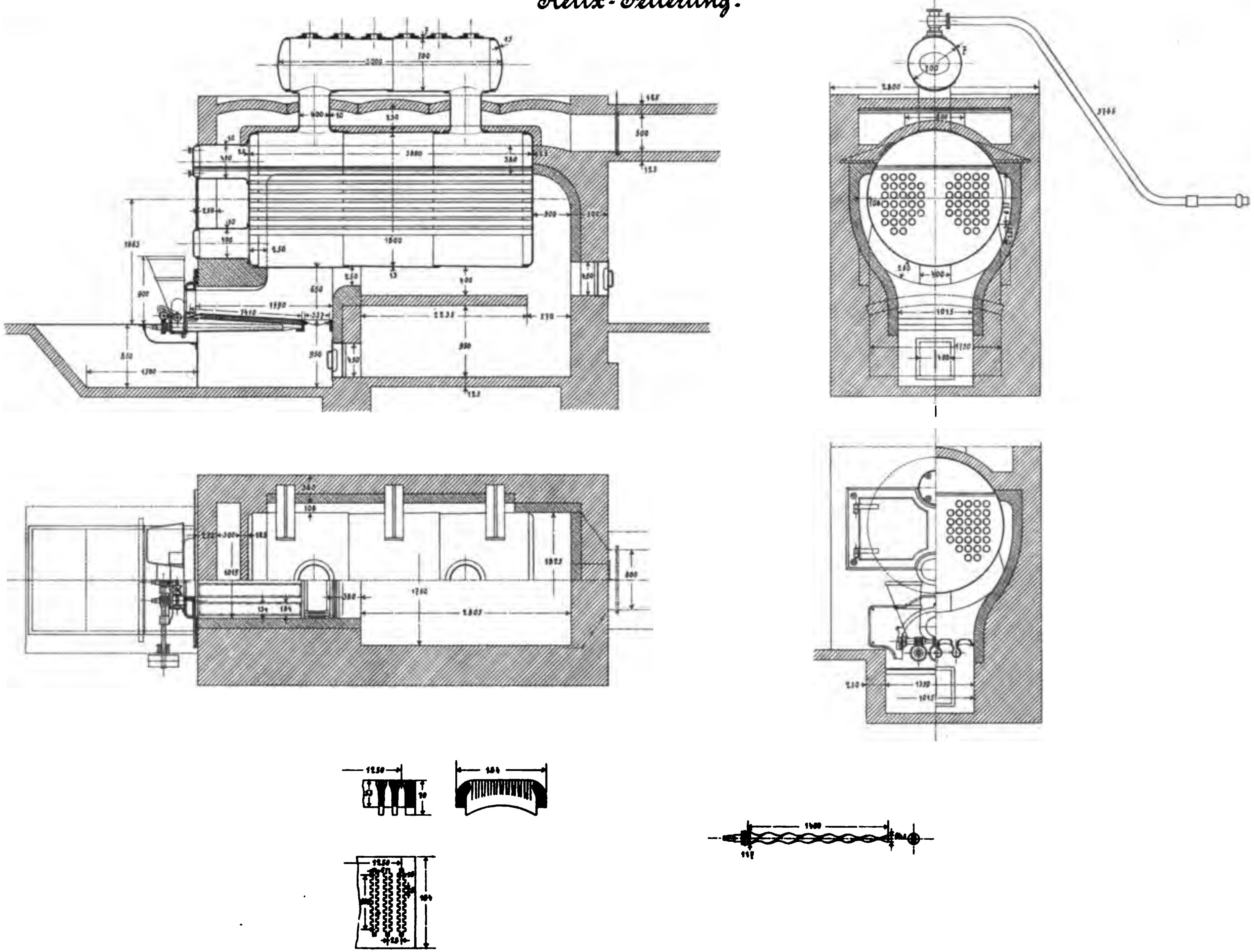
Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch IX.
Cornwallkessel.
Planrost.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

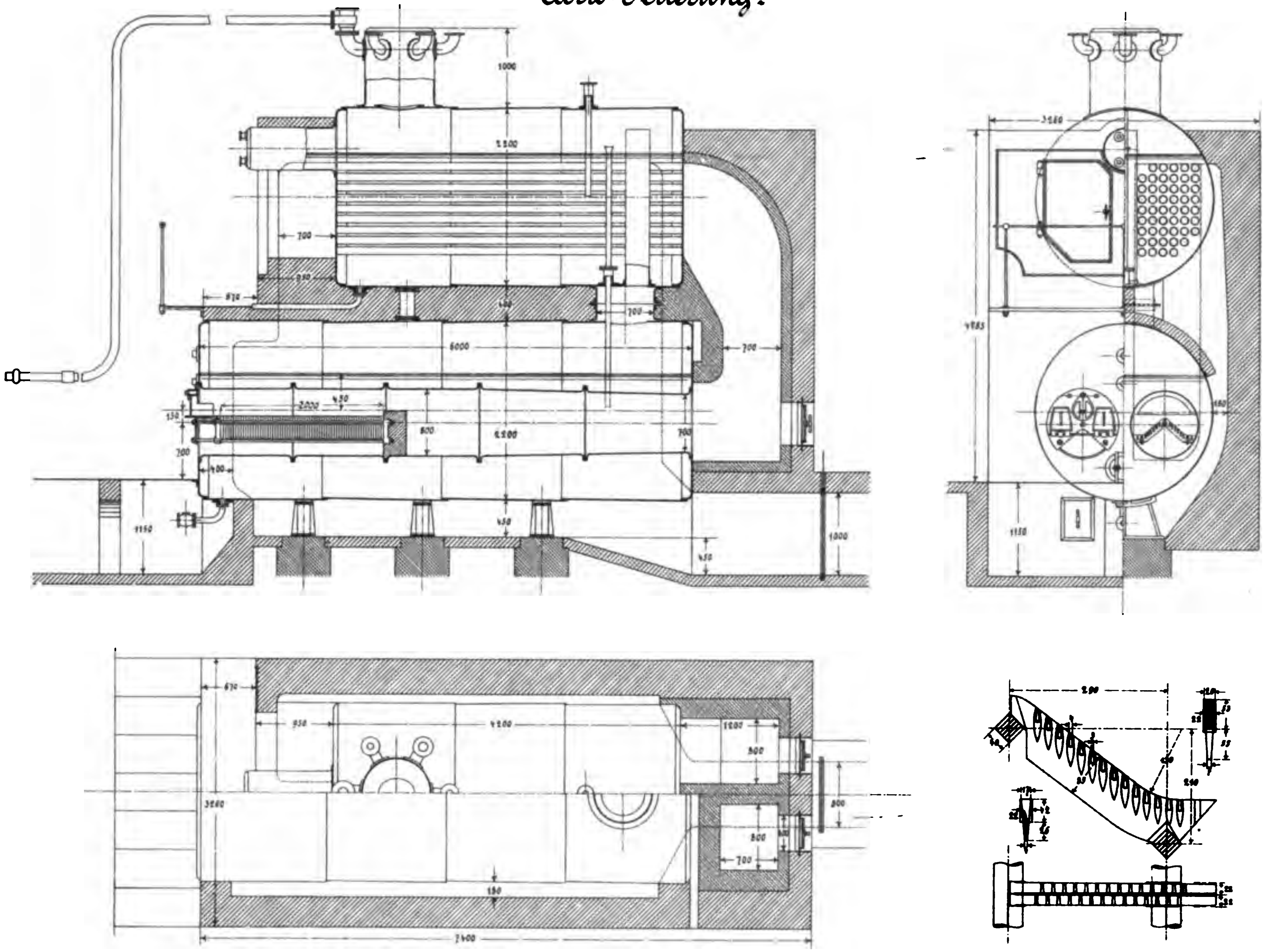
Versuch X.
Feuerröhrenkessel.
Helix-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

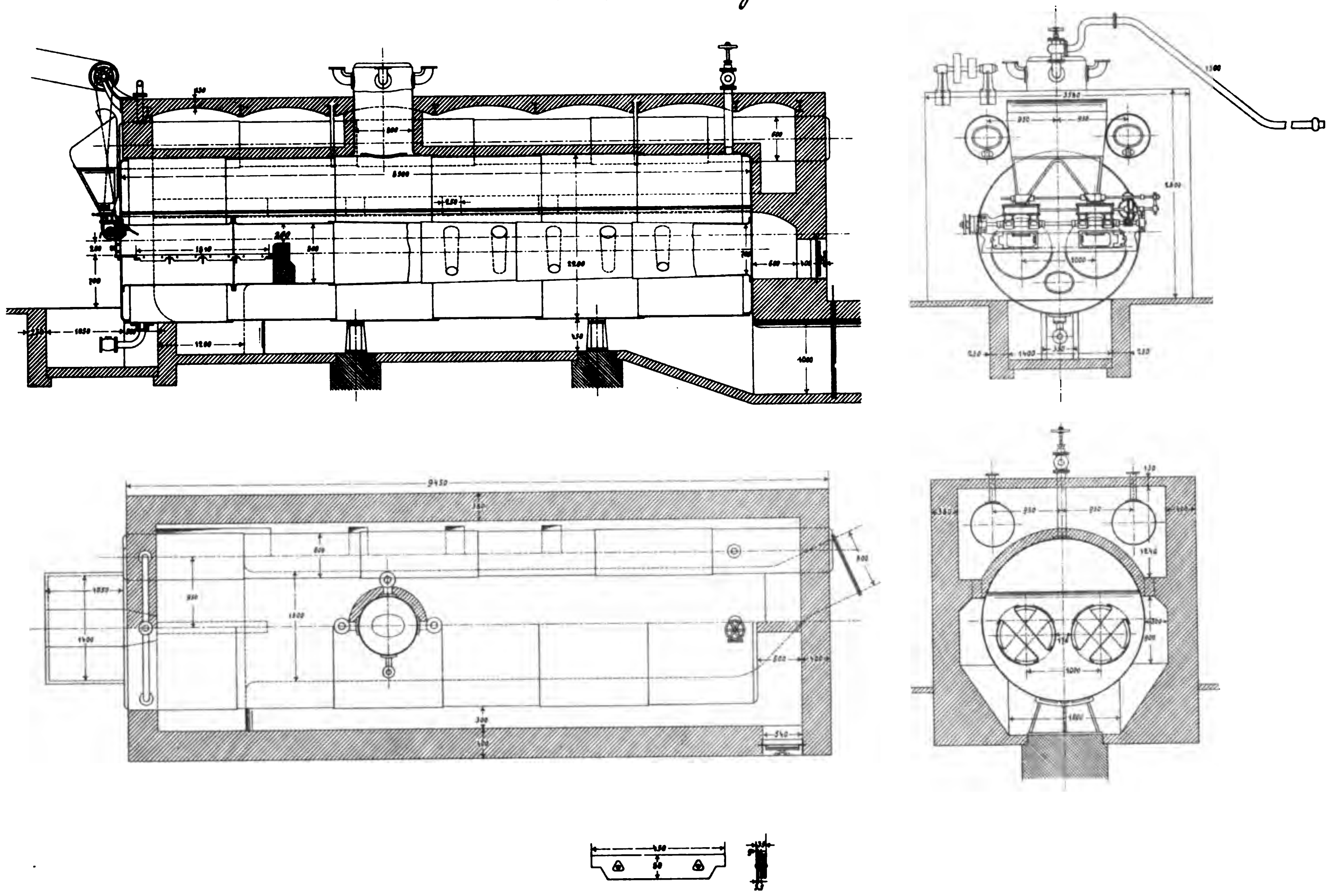
Versuch XI und XII.
Combinirter Kessel.
Cario-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

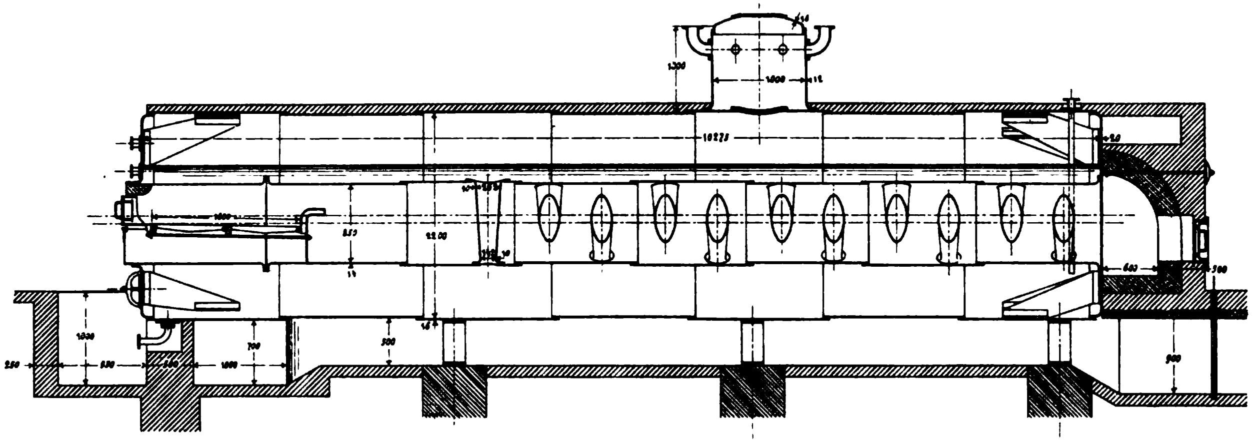
Versuch XIII und XIV.
Gallowaykessel.
Leach-Feuerung.

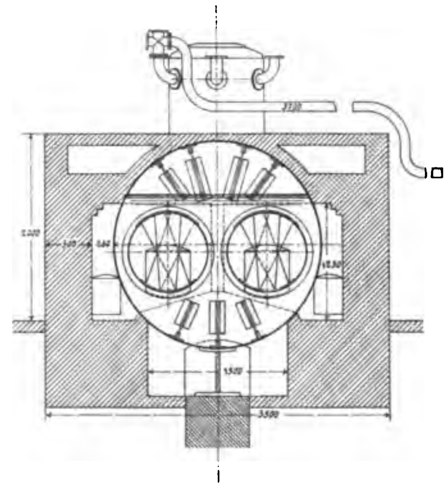


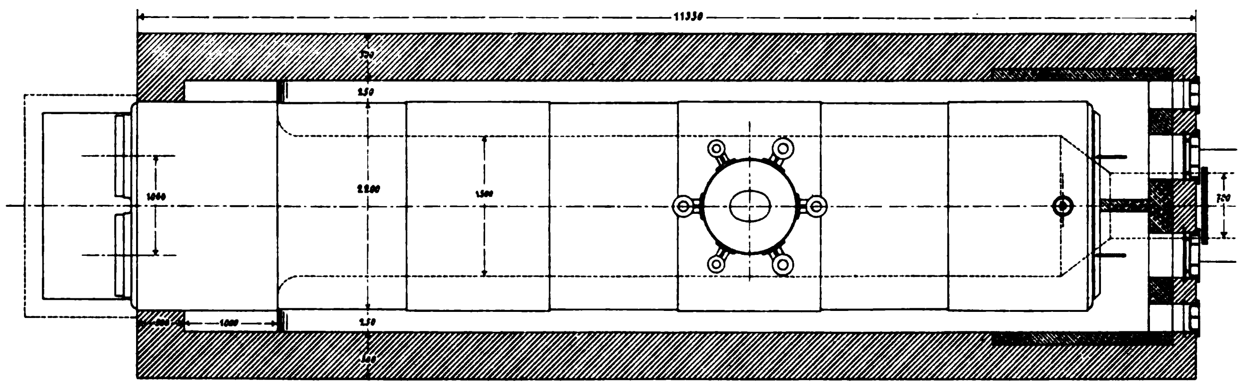
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch XV.
Gallowaykessel.
Planrost mit Pfeifen.



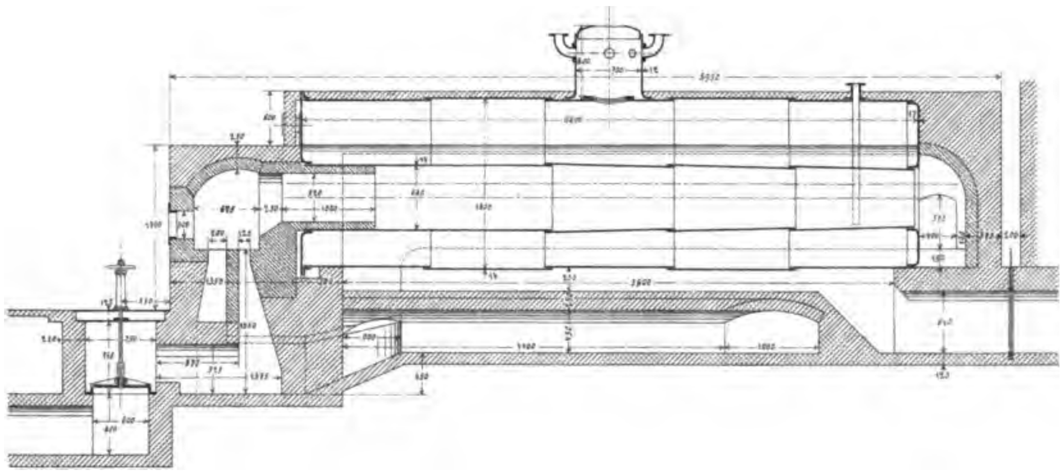


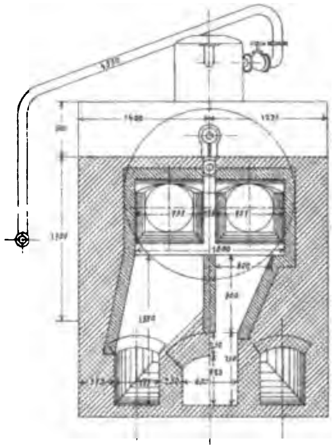


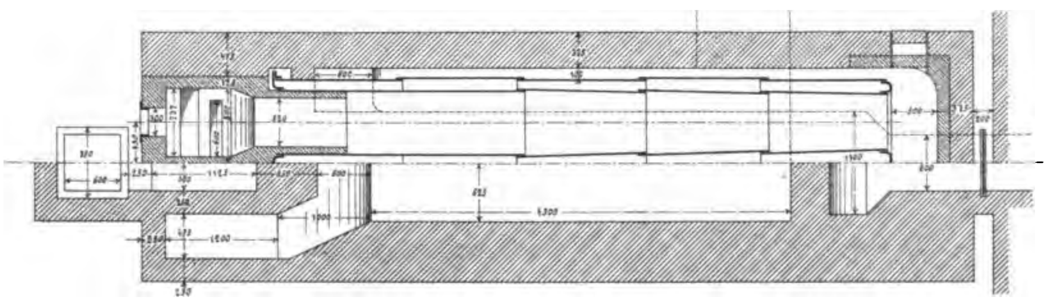
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

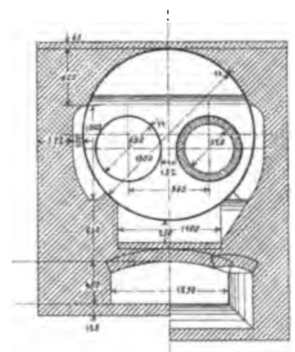
Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch XVII.
Cornwallkessel mit Generator Gasfeuerung.



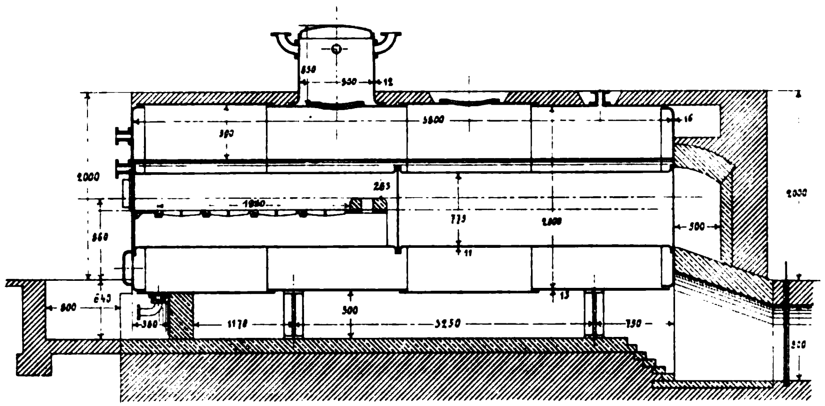


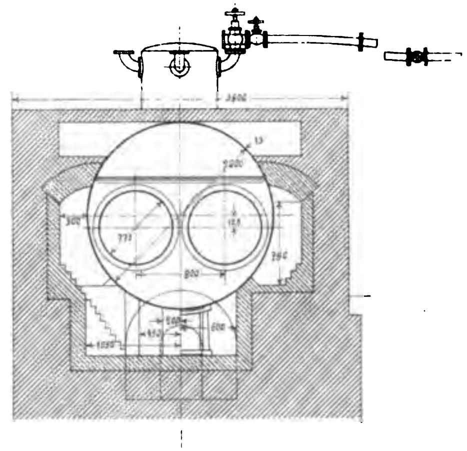


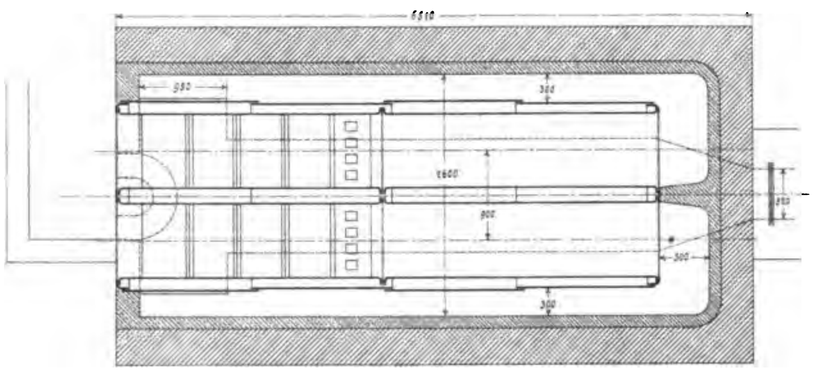


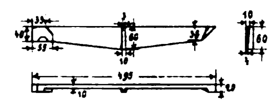
Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch XVIII und XIX.
Cornwallkessel.
Planrost mit Luftpfeifen.





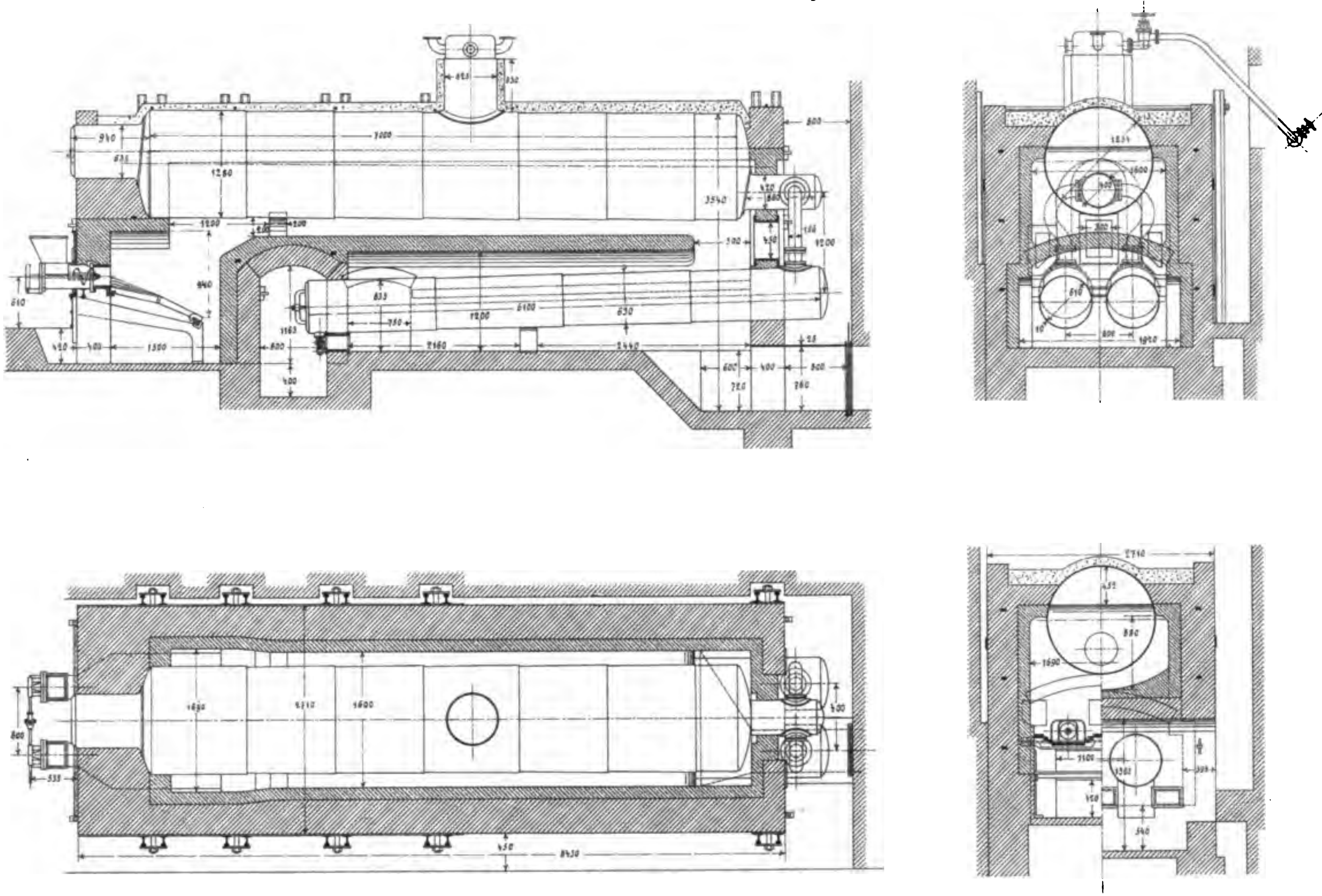




Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

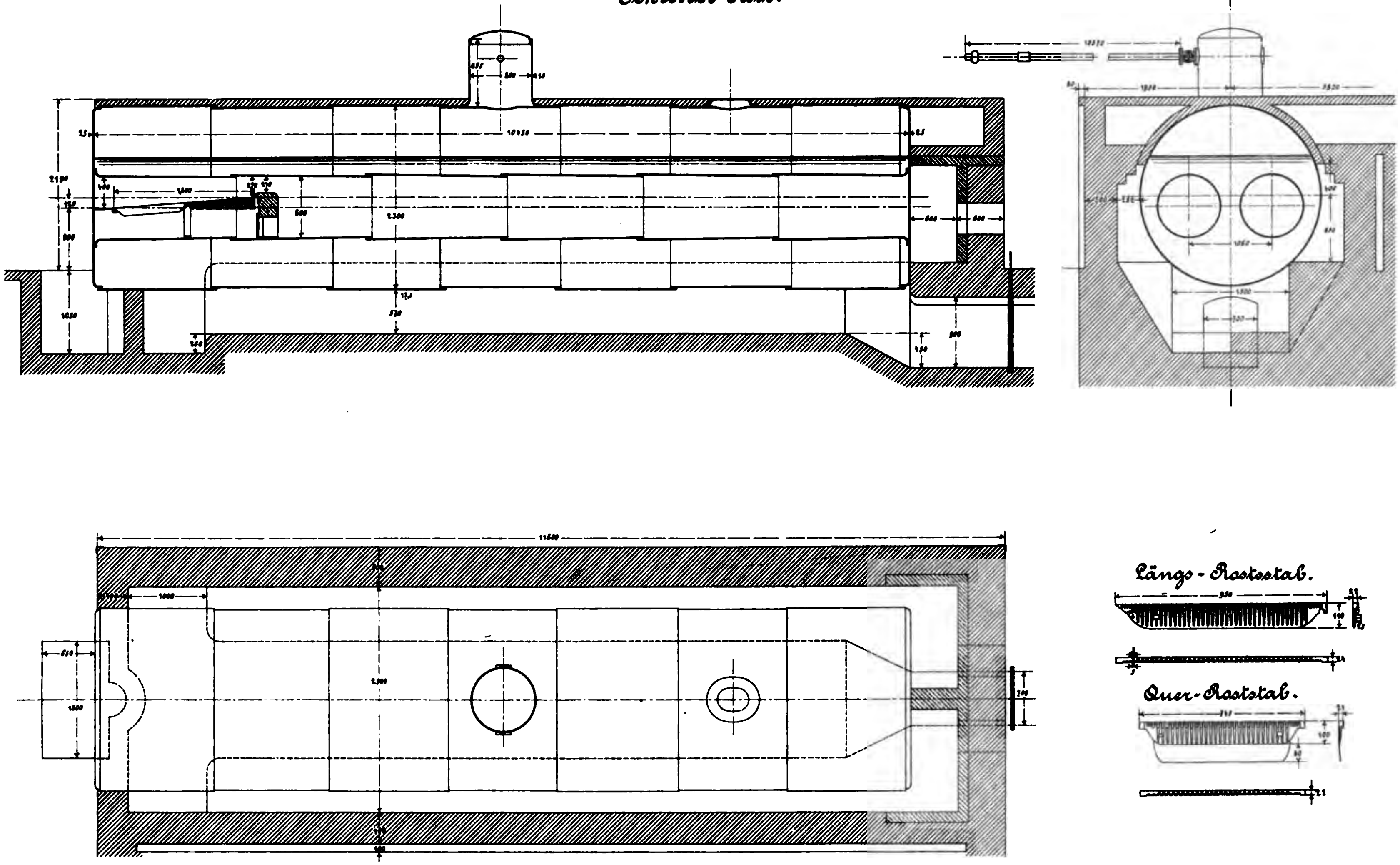
Versuch XX, XXI und XXII.
Combinirter Walzenkessel.
Schulz u. Röber-Feuerung.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

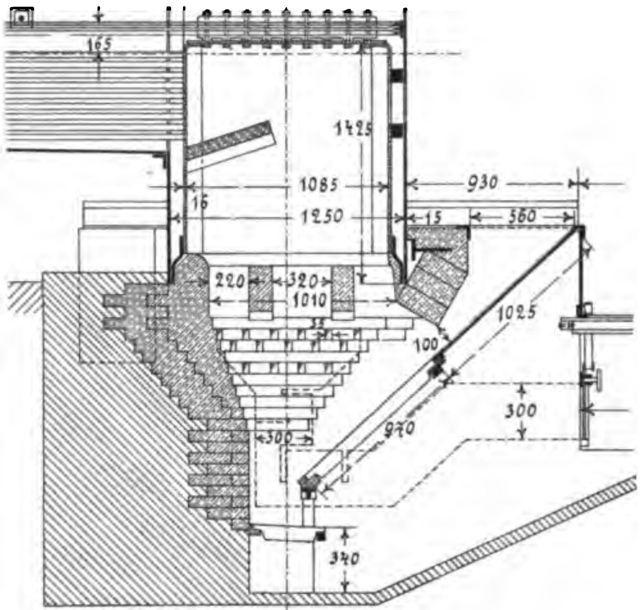
Versuch XXIII.
Cornwallkessel.
Schreiber-Rost.



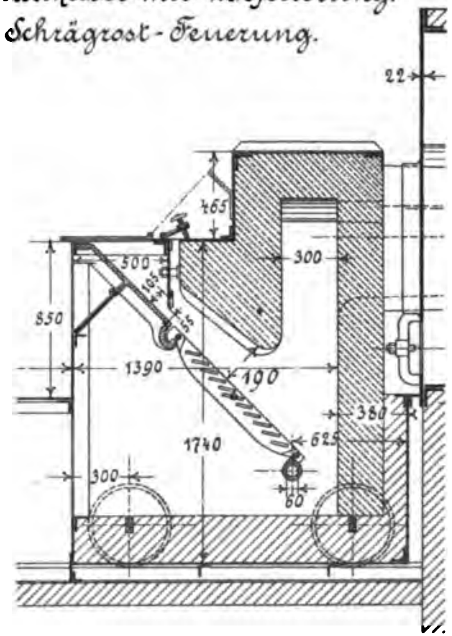
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

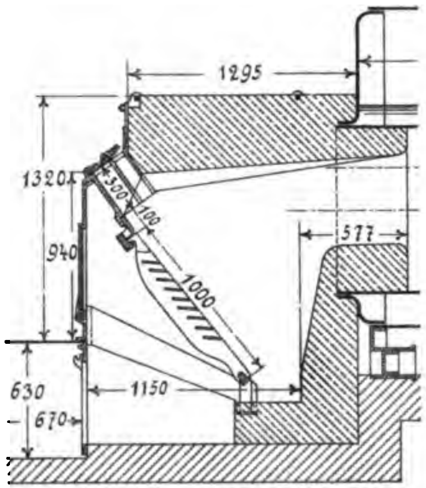
Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch II.
Stationärer Lokomotivkessel.
Schrägrost-Feuerung.



Versuch VII und VIII.
Cornwallkessel mit Vorfeuerung.
Schrägrost-Feuerung.



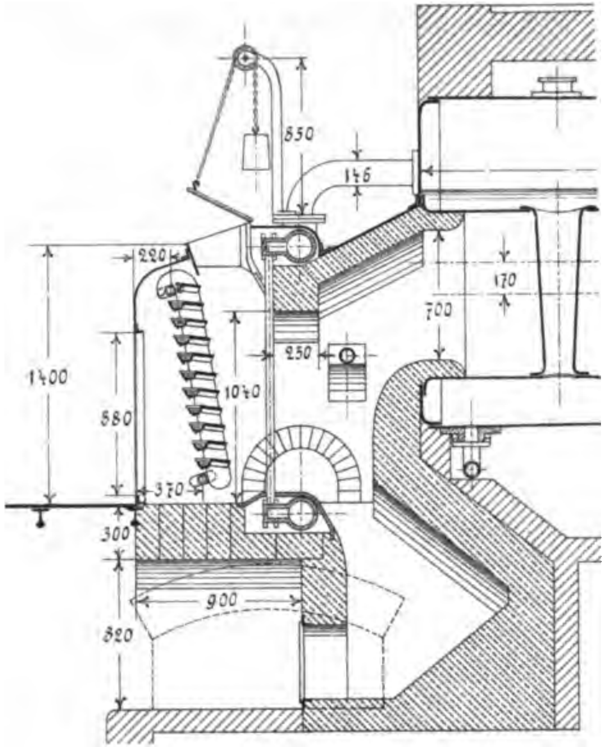


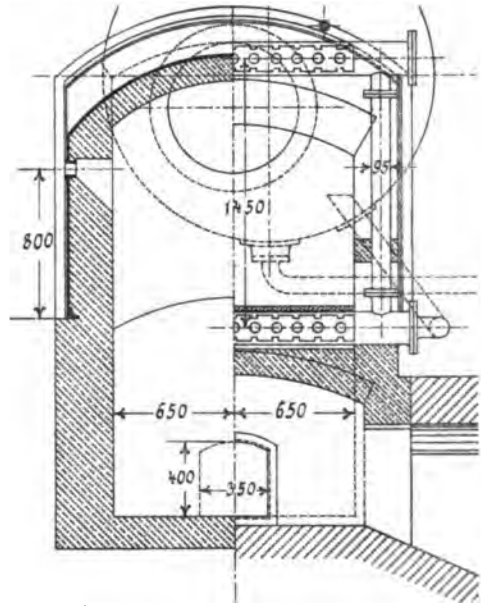
Versuch III und IV.
Cornwallkessel mit Vorfeuerung.
Schrägrost-Feuerung.

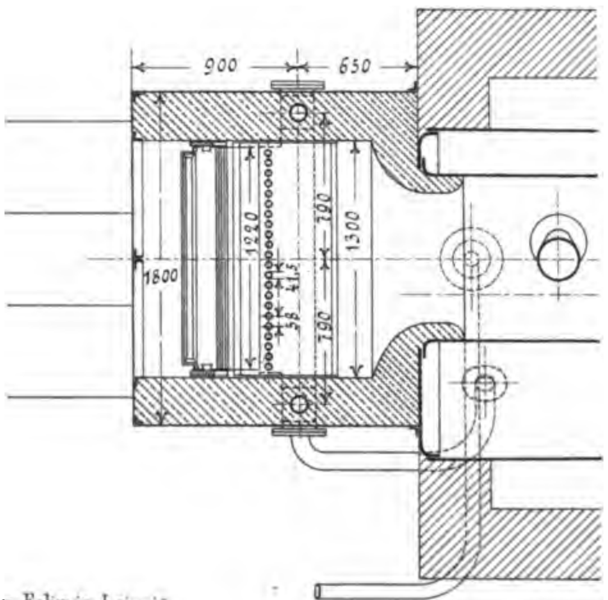
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch V.





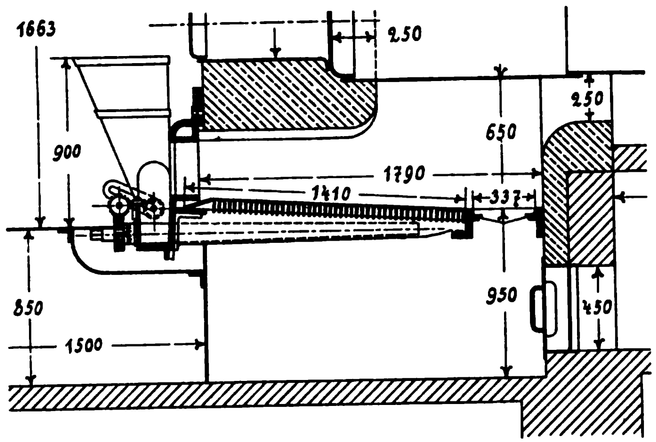


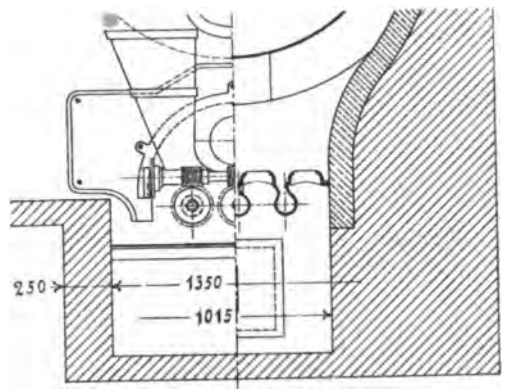
Gallowaykessel.
Donneley - Feuerung.

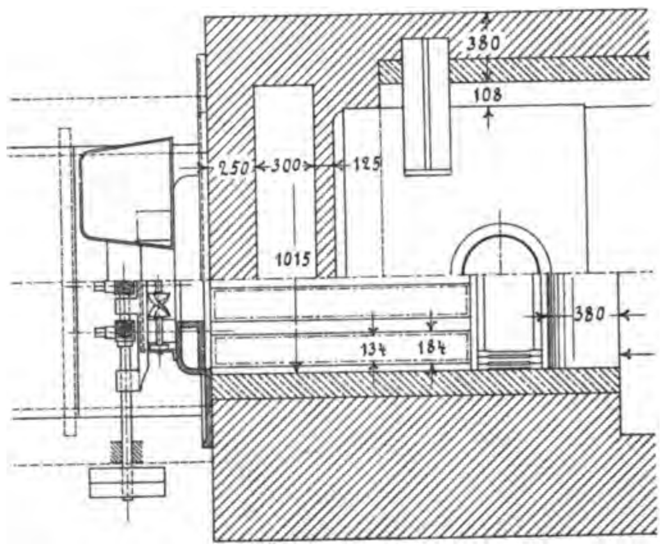
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch X.





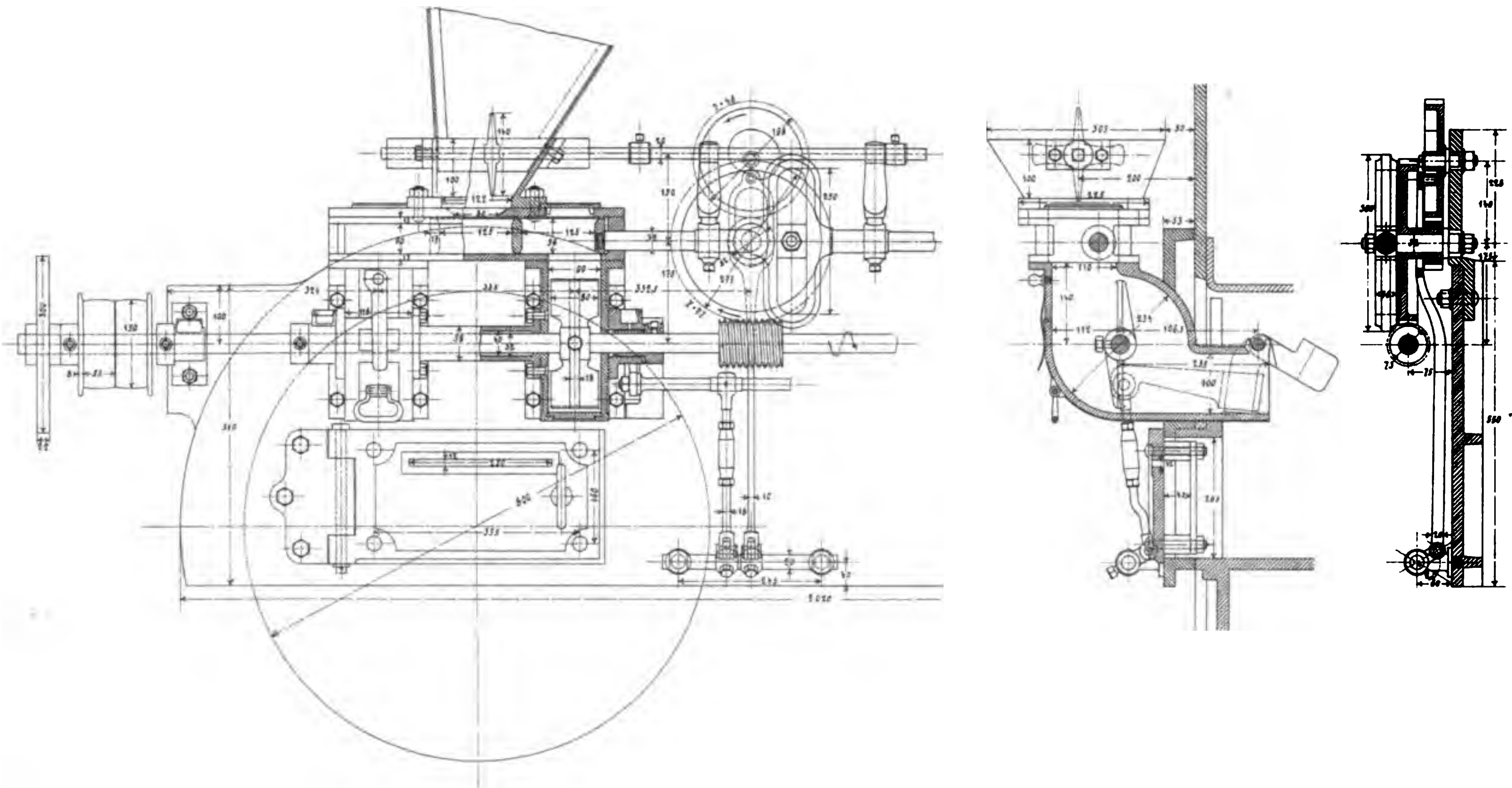


Feuerröhrenkessel.
Helix-Feuerung.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

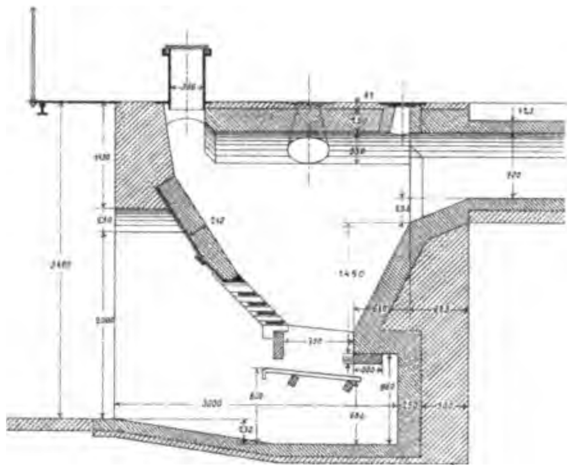
Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R

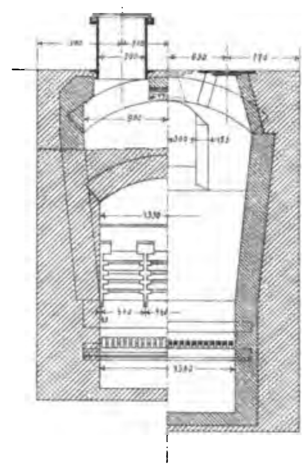
Versuch XIII und XIV.
Leach Feuerung.

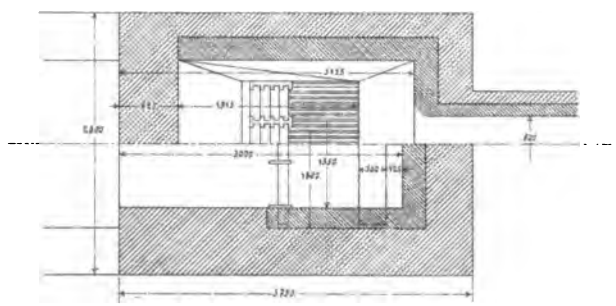


Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch XVII.





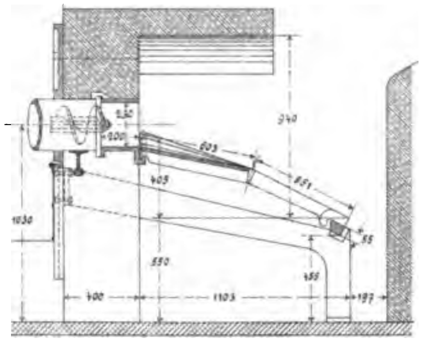


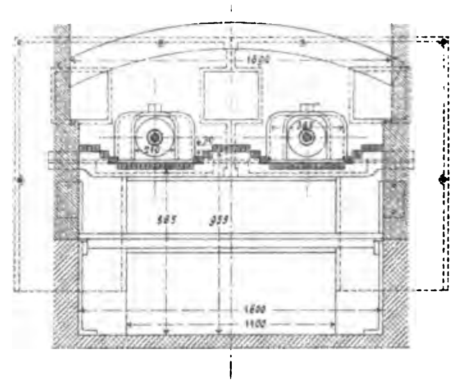
Generator Gasfeuerung.

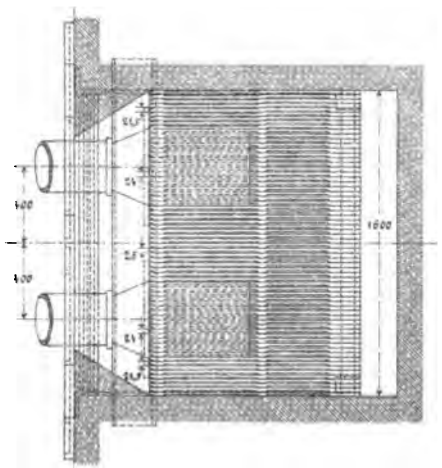
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R.

Versuch XX, XXI und XXII.







Combinirter Walzenkessel.
Schulz- u. Röber-Feuerung.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn. art. Anst. von Alfr. Müller in Leipzig-R